

共生コンピューティングに基づく利用者にやさしい 見守り型健康支援システム

著者	和泉 諭
学位授与機関	Tohoku University
URL	http://hdl.handle.net/10097/39880

平成 20 年度 修士学位論文

共生コンピューティングに基づく
利用者にやさしい見守り型健康支援システム

東北大学大学院情報科学研究科 情報基礎科学専攻

博士課程前期 2 年の課程

コミュニケーション論講座 (白鳥研究室)

A7IM1003 和泉 諭

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.1.1	健康支援システム	1
1.1.2	見守り型健康支援システム	2
1.1.3	見守り型健康支援システムの課題	4
1.1.4	共生コンピューティング	4
1.2	本研究の目的	6
1.3	本論文の構成	9
第2章	オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイス導出	11
2.1	はじめに	11
2.2	関連研究とその課題	13
2.3	オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイス導出 手法の提案	15
2.3.1	健康と運動・食事に関するオントロジ	15
2.3.2	アドバイス導出のための推論ルール	18
2.3.3	その他アドバイスの提供	24
2.3.4	オントロジ・推論ルールの記述・設計にあたっての工夫点	25
2.4	実装	26
2.4.1	支援システムの概要	26
2.4.2	実装環境	27
2.4.3	実行例	32

2.4.4	システム実装にあたっての工夫点	35
2.5	実験・評価	38
2.5.1	運用試験	38
2.5.2	オントロジによる利点	40
2.5.3	性能試験	43
2.6	おわりに	44
第3章	利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシー保護レベル要求の動的生成	47
3.1	はじめに	47
3.2	関連研究とその課題	48
3.3	高齢者見守り支援システム: uEyes	50
3.4	利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシー保護レベル要求の動的生成手法の提案	52
3.4.1	現実空間理解機能	53
3.4.2	人間関係認識機能	54
3.4.3	状況認識機能	56
3.4.4	時間オントロジ	57
3.4.5	時間オントロジに基づいた現実空間理解機能の動作例	58
3.5	実装	60
3.5.1	実装環境	60
3.5.2	知識記述例	61
3.6	実験・評価	62
3.6.1	実験環境	62
3.6.2	実験 1: 現実空間理解機能の評価実験	62
3.6.3	実験 2: uEyes におけるソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの評価実験	68

3.6.4	実験 3: ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの性能評価実験	71
3.6.5	評価・考察	73
3.7	おわりに	74
第 4 章	マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式	75
4.1	はじめに	75
4.2	関連研究とその課題	76
4.3	マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式の提案	79
4.4	実装	81
4.5	予備実験	82
4.5.1	実験概要	82
4.5.2	実験環境	82
4.5.3	実験結果	83
4.5.4	考察	84
4.6	おわりに	85
第 5 章	結論	86
5.1	結論	86
5.2	共生コンピューティングの概念の導入に関する知見	89
5.3	オントロジの適用に関する考察	91
5.3.1	オントロジ適用による利点	91
5.3.2	オントロジ適用による欠点	91
5.3.3	実際のオントロジ構築において問題となった点	92
5.4	今後の課題	92
	謝辞	94
	発表論文	95

目 次

1.1	従来の健康支援システムの概要	2
1.2	見守り型健康支援システムの概要	3
1.3	見守り型健康支援システムの課題	5
2.1	健康と運動・食事に関するオントロジ	17
2.2	支援システムの概要	26
2.3	Protégé によるオントロジの記述	28
2.4	運動強度の測定	33
2.5	目標の選択	34
2.6	推奨運動と運動の詳細なアドバイスの提示	35
2.7	減量プランの提示	36
2.8	目標ごとに応じたアドバイス提供	41
2.9	健康状態を考慮したアドバイス提供	42
2.10	試験環境	43
2.11	1 秒あたりのリクエスト数に対する平均応答時間	45
2.12	1 秒あたりのリクエスト数に対する最大応答時間	46
3.1	uEyes の概要	51
3.2	共生コンピューティングに基づく uEyes の構成	52
3.3	ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスにおける機能とそれらの関係	54
3.4	uEyes におけるコンテキストオントロジ	55
3.5	人間関係オントロジ	56

3.6	状況認識機能に用いるオントロジ	57
3.7	時間オントロジ	58
3.8	時間オントロジを用いた利用者の生活習慣の記述例	59
3.9	時間オントロジに基づいた現実空間理解機能の動作例	60
3.10	実験環境	63
3.11	実験結果 1(1): 正常状態（見守られる人が正常に寝ている）場合	65
3.12	実験結果 1(2): 見守られる人が異常状態の場合	66
3.13	実験結果 1(3): 正常状態（見守られる人が食事をとっている）場合	67
3.14	実験結果 1(4): 見守られる人が普段の生活習慣とは異なる行動をしている 場合	68
3.15	実験結果 2(1): 見守られる人がダイニングで行動している場合のソーシャ ル・コンテキスト・アウェアネスの効果	70
3.16	実験結果 2(2): 見守られる人が異常な状態の場合のソーシャル・コンテク スト・アウェアネスの効果	71
3.17	実験結果 2(3): 見守られる人がベッドで寝ている場合のソーシャル・コン テキスト・アウェアネスの効果	72
3.18	性能評価における実験環境	72
4.1	マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式の概要	80
4.2	クロスボー MOTE	81
4.3	実験環境	83
4.4	1 分間あたりの情報の取得回数と CPU 使用率	84
5.1	各提案の関連性	89

表 目 次

2.1	アドバイスの満足度についてのアンケート結果	39
2.2	性能試験で使用する利用者情報	44
3.1	性能評価実験に使用したオントロジの規模とパラメータと推論時間	71

第1章 序論

1.1 背景

1.1.1 健康支援システム

運動不足や過食等，生活習慣の不規則性から，肥満，高血圧，糖尿病等の生活習慣病患者が増加している．これらの患者は心臓病や脳卒中の恐れがあり，最悪の場合死にいたる．生活習慣病は日本での死因の約3割を占めているということから，生活習慣病の改善に大きな注目が集まっている [1]．生活習慣病を防ぐためには，定期的に運動を行い，また食生活を改善する必要がある [2, 3, 4]．そのようなことから，健康改善を促進するためのサービス提供を行う，IT を活用した様々な健康支援システムが研究・開発されてきている [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] ．

一方で無線ネットワークや携帯型端末などのネットワーク，計算機技術の進展により，ユビキタス情報環境と呼ばれる「いつでも，どこでも，誰でも，コンピュータやネットワークを利用できる情報環境」が整備されつつある．これらの技術的背景により，ユビキタス情報環境を効果的に利用した健康維持・促進のための健康支援システムが登場しつつある [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24] ．

図 1.1 にこれら一般的な健康支援システムの概要を示す．一般的な健康支援システムの例として，ウェアラブルな生体センサを使用して生体情報を測定・モニタリングするものや，運動促進やモチベーションの維持のためのインタフェースを搭載したものなどが挙げられる．また，健康についての情報提供などの活動も各種機関・組織で活発に行われている．

これらシステムでは，利用者から要求があった場合にのみ，利用者のみにアドバイスを

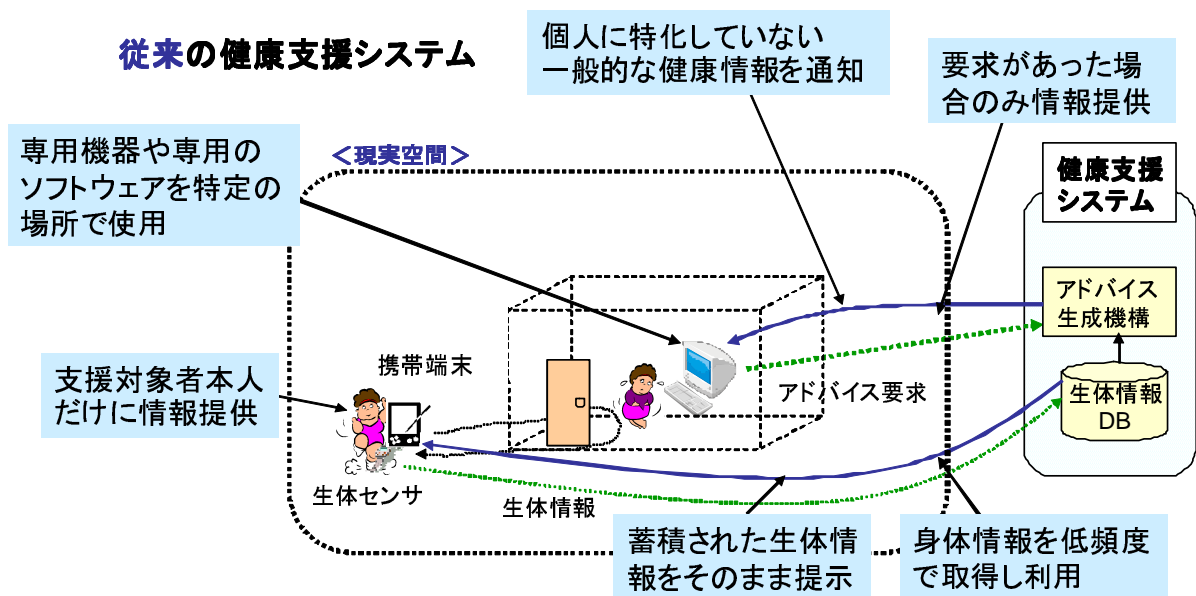


図 1.1: 従来の健康支援システムの概要

提供するため，運動中や日常生活で危険な状況や良くない状況に陥ったときに，瞬時に対応することができない．取得する情報も利用者の生体情報のみで，それをデータベース（DB）に蓄積・管理し，蓄積された情報をそのまま利用者に提示するため，利用者の詳細な状態の推定が難しい．また，情報提供も一般的な情報のみを提示するため，あらゆる健康状態に応じた情報が混在しているなかから，利用者は自分に合った改善方法を探す必要があり，それは一般に難しく，利用者の立場からすると，自分の要求や健康状態に応じた情報やアドバイスを容易に取得できない課題があった．

1.1.2 見守り型健康支援システム

1.1.1 節で述べた従来の健康支援サービスにおける課題を解決するため，生体情報，環境情報，映像情報等，実空間からの多種多様な情報を効果的に取得・活用した，見守り型健康支援サービスの実現が期待されている．見守り型健康支援システムの特徴として，家族，友人，近隣住民，カウンセラ，専属医師等，利用者を中心としたコミュニティによって利用者の健康状態を管理し，見守る点が挙げられる．さらに，生体情報だけではなく，

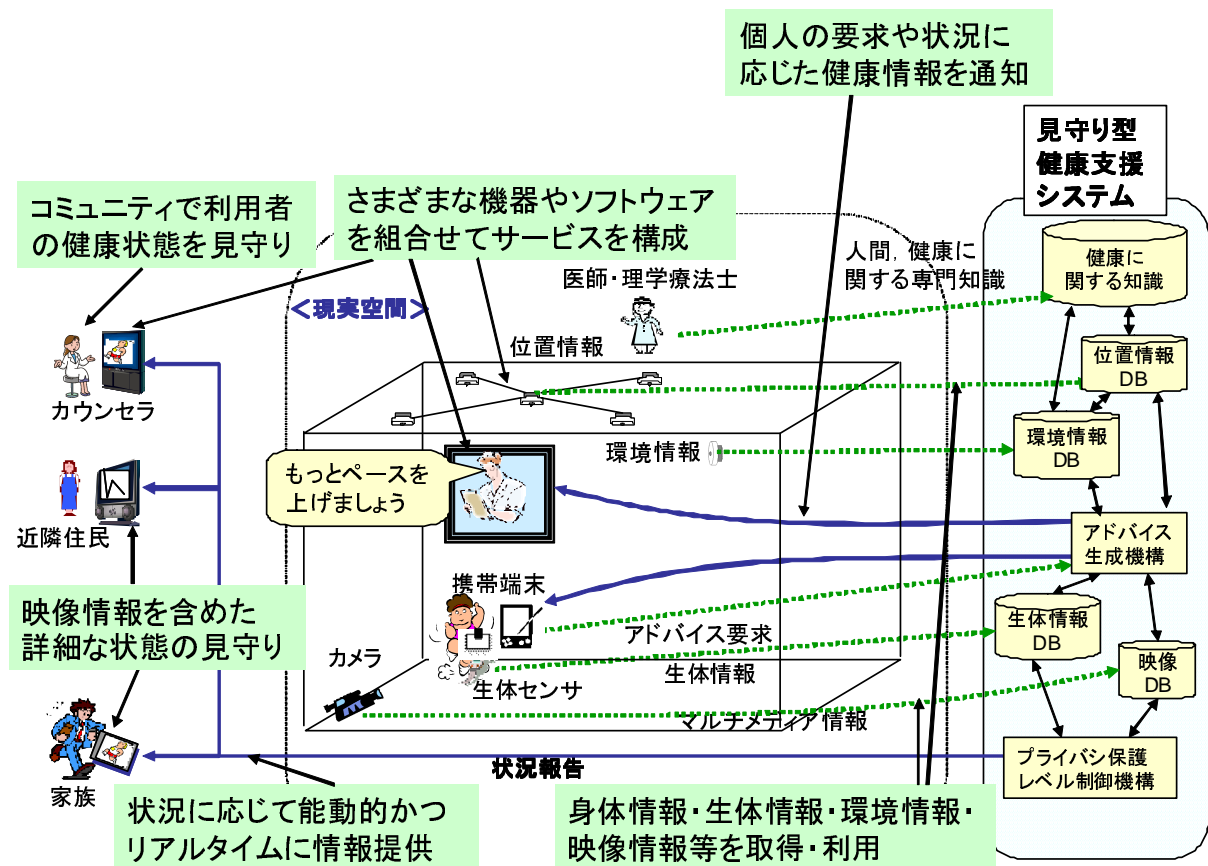


図 1.2: 見守り型健康支援システムの概要

部屋の温度や湿度，照度等，実空間の環境情報やカメラからの映像情報を取得・管理し，それら実空間から得られた多種・多様な情報と，専門知識を組み合わせた高度な健康支援サービスの提供が挙げられる．例えば，利用者の健康状態をモニタリングし，それに応じた運動を推奨する．運動中の映像や生体情報は適宜モニタリングされ，必要に応じて家族やカウンセラに通知する．それにより利用者の健康状態を管理することができ，また，カウンセラは利用者の映像情報や生体情報から健康状態を特定したり，アドバイスを送ることも可能となる．運動中に心拍数の急激な向上等，危険な状況の場合には，生体情報のモニタリングの間隔を短くし，家族や近隣住民などにその旨を通知し，同時に高品質な映像を配信する．それにより緊急時にも迅速に対応することが可能となる．

1.1.3 見守り型健康支援システムの課題

1.1.2 節で述べた見守り型健康支援システムの実現に向けて、様々な課題が存在する。図 1.3 に見守り型健康支援システムの実現における種々の課題を示す。例として、大規模システムのため、システム導入のコストがかかる事が考えられる。また、見守り型健康支援システムにおいて、コミュニティを中心とした様々な利用者がいることを考慮すると、各利用者に応じたわかりやすいインタフェースの開発が必要になる。さらには利用者の健康状態を長期にわたって管理することから、利用者の負担を減らすため、センサデバイスの小型化・ウェアラブル化が必要となる。

さらに、生体情報に加えて、位置や周辺状況(気温、室温、湿度等)、映像を利用することで、より正確に状態を推定することが可能となる。しかし各種情報資源が限られている中で、実環境の情報を効率的に取得する手法が必要となる。

また、利用者を中心としたコミュニティで利用者の健康状態を見守ることで、利用者の健康状態が急激に悪化した等、緊急時にも瞬時に対応可能になるが、その一方で過度な見守りにより利用者のプライバシーを侵害してしまう危険性がある。そのため利用者の人間関係や状況を考慮した適切なプライバシー保護レベルの制御手法が求められる。

アドバイス提供の面でも、実空間から取得した多種多様な情報から、支援システムが自立的に利用者の要求にあった適切なアドバイスを導出する仕組みも必要となる。

本研究ではこれら課題のうち、以下の3つについて取り組む。

- 支援システムから利用者への高度なアドバイス提供に関する課題
- 利用者のプライバシー保護レベルの制御に関する課題
- 支援システムによる実空間からの効果的な情報取得に関する課題

1.1.4 共生コンピューティング

1.1.3 節にて述べた本研究で取り組む課題を解決するために、本研究では共生コンピューティングの概念を取り入れる。

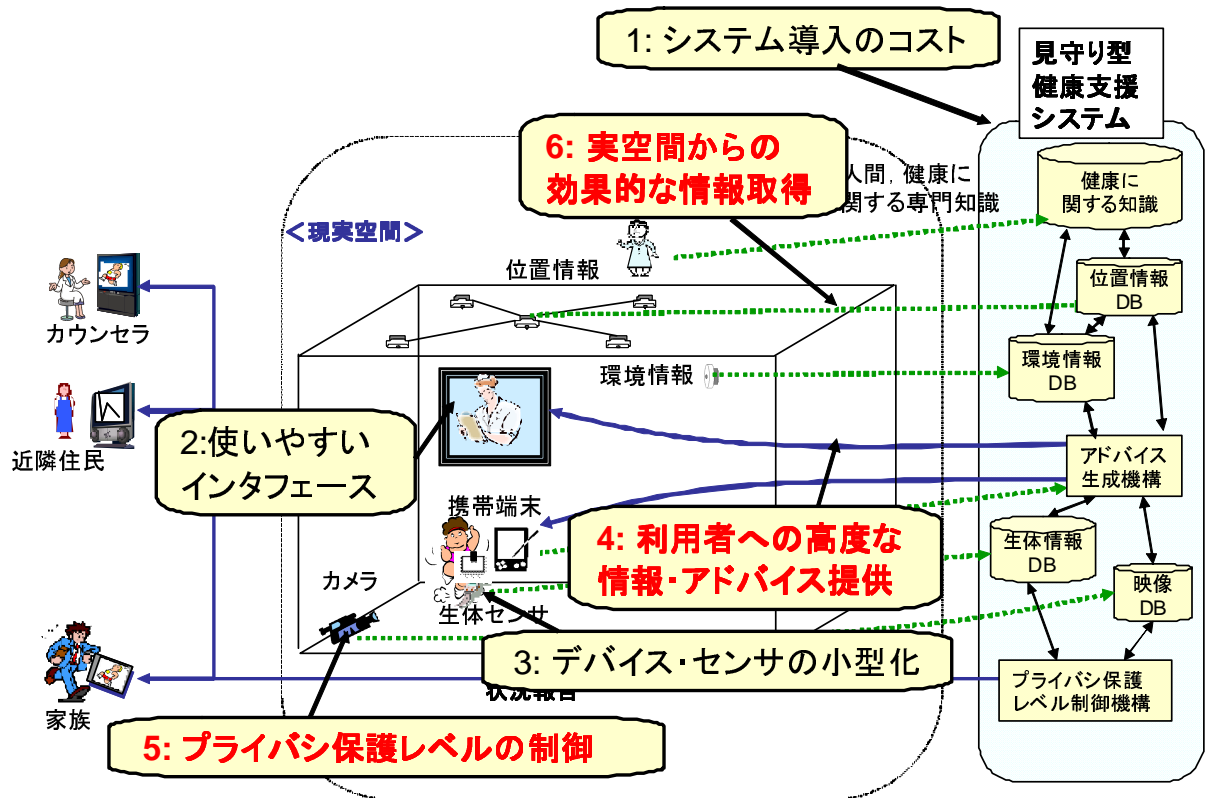


図 1.3: 見守り型健康支援システムの課題

共生コンピューティングとは、現実世界の人間の振舞いや社会性を理解することによって、デジタル空間が人や社会の活動を能動的に支援する新しい情報環境を構築するための情報処理基盤技術である [25, 26, 27, 28] 。

共生コンピューティングにおいて、現実空間 (RS: Real Space) とデジタル空間 (DS: Digital Space) は、“共認知” の概念に基づいて相互に作用する。共生コンピューティングは、ネットワークアウェア、パーセプチャルアウェア、ソーシャルアウェアの3つの技術を核とするコンピューティングである。これらにより RS と DS との間のギャップを解消する。以下に3つのアウェアについて説明する。

ネットワークアウェア：ネットワークアウェアは、RS と DS の間のコミュニケーションを支援・強化するアウェアである。情報・知識・サービスを、RS や DS 内で効果的に流通させるための機能を提供する。このウェアにより、ネットワーク資源や計算機資源の状況、サービス提供状況、通信ソフトウェアの状況などに基づいて、関係するエンティティの動

作パラメタやコネクションパスを変更することで、システムの安定的な動作を実現する。

パーセプチュアルウェア：DS が提供するサービスを直感的に理解するための感覚的現実感を実現するためのウェアである。これらは、RS のユビキタス機器などからの信号・データに基づき、人・集団の行動、環境の状態等を認知し、その情報を DS に提供する。また、DS から提供された情報を、人の状況や嗜好を反映して、感覚的現実感を高める形式で提供することにより、提供された情報に対する利用者の認知性を高める。

ソーシャルウェア：DS が提供する社会活動を支えるサービスの社会的現実感を実現するためのウェアである。ソーシャルウェアは、パーセプチュアルウェアの提供する情報と社会の仕組み、規範、常識を組み合わせることにより、人の意図、心理状況などを理解し、その情報を DS に提供する。また、DS から提供された情報に社会的現実感を与えるための処理を行うことにより、これに対する利用者の安全、安心の感覚を高める。

1.2 本研究の目的

本研究では、実環境の多様な情報を効果的に取得・活用し、プライバシーを考慮した高度な健康支援サービスの提供を目指す。それを、従来のユビキタス情報環境における健康支援システムを、ユビキタス性、インテリジェンスの観点でさらに高度化し、人間の日常生活により密着した利用者にやさしい見守り型健康支援システムとして実現する。やさしい見守り型健康支援システムの実現のために以下の課題に取り組む。

(P1): 支援システムから利用者への高度なアドバイス提供に関する課題

既存の健康支援システムにおける情報提供は、従来のホームページ記述言語（html）で記述されているため、検索エンジンやエージェント等がそれら内容の意味を理解することができず、文字列によるパターンマッチングに基づく検索しか行えないため、的確な情報を得られなかったり、検索効率が悪化したりする等の課題があった。その結果、あらゆる健康状態に応じたそれぞれのアドバイス（適切な運動や食事とそれらの頻度、また、不適切な運動等）や、各運動や食事における効果等が混在して記載されている Web ページの中から、自分に合った改善方法を探すのは一般に難しく、利用者の立場からすると、自分

の要求や健康状態に応じた情報やアドバイスを容易に取得できないという問題があった．そのため利用者の目標や健康状態に応じた，利用者が満足する情報やアドバイスを自動生成する仕組みが必要となる．

(P2): 利用者のプライバシーレベルの制御に関する課題

利用者を中心としたコミュニティで利用者の健康状態を見守ることで，利用者の健康状態が急激に悪化した等，緊急時にも瞬時に対応可能になる．しかし，過度な見守りにより利用者のプライバシーを侵害してしまう危険性がある．利用者が望むサービス品質やプライバシーを自律的に判断する上で必要な情報である「利用者の状況」や「人間関係」の導出に関する課題が存在する．すなわち，利用者の状況や人間関係の導出においては，現実空間を把握するセンシング情報の量的・質的な制約や，利用者プロフィールに関するプライバシー制約が存在し，少ないセンシング情報・プロフィール情報から，利用者の状況や人間関係を導出することが困難であるという問題点がある．そのため利用者が望むサービス品質やプライバシーを自律的に判断する仕組みが必要となる．

(P3): 支援システムによる実空間からの効果的な情報取得に関する課題

既存の健康支援システムでは，生体情報のみを取得し，それに基づいて利用者自身やシステムが利用者の状態を推定している．そこで，生体情報に加えて，利用者の物理的位置情報，周囲の様子を示す環境情報（室温，部屋の明るさ，電気機器の使用状況など），利用者の映像情報等を利用することにより，より正確に利用者の状態を把握することが可能となる．しかしながら，ユビキタス情報環境などは計算機資源，ネットワーク資源に制約があることから，これらの実環境の情報を全て獲得することは困難である．従って，実環境からの効果的な情報獲得手法を検討する必要がある．

上記3つの課題を解決するために，本研究では共生コンピューティングの概念に基づき，以下の3つを提案する．

(S1): オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイス導出

セマンティック・ウェブ技術を利用し，人々の健康維持・促進，特に生活習慣病の改善のためのアドバイス導出手法を提案する．本提案手法では，利用者からアドバイス要求があると，利用者の健康情報や要求に応じて，その利用者に合った運動や食事のアドバイス

を自動的に導出する．そのためには，健康や運動，食事に関する知識をシステムに与え，システム自身がその知識や利用者の健康状態の関係を考慮する必要がある．本研究では，的確なアドバイスを導出するために，健康と運動・食事についての知識，すなわち，これらドメインでの諸概念とそれらの間の関係をオントロジとして体系化する．オントロジにおいて，健康と運動，食事に関する知識は，それぞれ関連付けられているが，推論によりそれらの知識に新たな関係を導出し，それをアドバイスとして提供する．

本提案により，様々な状況に柔軟に対応し，利用者が満足する健康アドバイスの自動導出が可能になる．例えば，目標達成のための推奨運動（食事）や健康状態に応じた，行うことに問題のある運動（食事）の自動導出・提示が可能となる．これは共生コンピューティングにおけるパーセプチュアルウェアに対応する．

提案 (S1) により，(P1): 支援システムから利用者への高度なアドバイス提供に関する課題を解決する．

(S2): 利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシーレベル要求の動的生成

「社会的知識」を利用した推論による状況・人間関係・生活習慣の認識と，それに基づくサービス品質・プライバシーレベル要求の動的生成手法を提案する．

本提案により，人間の行動と時間の関係，特に人間の生活習慣を把握することが可能になる．さらに既存の高齢者見守り支援システムである uEyes[29, 30, 31, 32, 33, 34, 35] に組み込むことで人間関係や状況，特に生活習慣に対応した適切なサービス品質とプライバシーレベルの自動生成が可能になる．これは共生コンピューティングにおけるソーシャルウェアに対応する．

提案 (S2) により，(P2): 利用者のプライバシーレベルの制御に関する課題を解決する．

(S3): マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式

提案 (S3) では，ネットワークの帯域や DB の稼働状況に応じて，センサからのデータ取得量を動的に調整する情報量制御方式を提案する．本提案の特徴として，データマイニング技術の導入が挙げられる．データマイニング技術の導入により，大量に蓄えられた生体情報から利用者の健康状態や傾向を検出することが可能となり，データマイニングの結果

に基づきシステムの振舞を制御し，取得するセンサを識別し，そしてセンサから取得する情報量を決定する．

提案 (S3) により，システムの稼働状況，利用者の健康状態に応じて，効率的に実空間からのデータ取得が可能になる．例えば，利用者が正常に運動をしている場合は，生体情報を適度な頻度でモニタリングし，品質を落とした映像をコミュニティに配信する．また，利用者の健康状態に普段と違う傾向が見られた場合は，生体情報を高頻度でモニタリングし，利用者の近くのセンサデバイスから環境情報を取得する．さらに高品質の映像をコミュニティに配信することで，利用者の健康状態の詳細な推定や即座の対応が可能となる．これは共生コンピューティングにおけるソーシャルウェアに対応する．

提案 (S3) により，(P3): 支援システムによる実空間からの効果的な情報取得に関する課題を解決する．

1.3 本論文の構成

本論文は全 5 章からなる．

第 1 章「序論」では，本研究の背景と全体概要を示した．

第 2 章「オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイス導出」では，利用者の要求を満たす健康アドバイスの自動導出法について述べる．そして，提案手法を実現するプロトタイプシステムを構築し，それを用いた実験により提案手法の有効性を示す．

第 3 章「利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシーレベル要求の動的生成」では，利用者間の人間関係や状況，生活習慣を的確に捉え，それに基づいてプライバシーレベル要求を設定し，動的にサービスを提供する手法について述べる．そして，既存の見守り支援システムに提案手法を組み込み，その有効性を示す．

第 4 章「マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式」では，実空間から生体情報や環境情報，映像情報等，多種多様な情報を効率的に取得するための情報量制御方式の概要について説明する．既存手法を用いた実装と実験について述べ，既存手法に

おける課題を明らかにする．

第5章「結論」では，本研究の結論を述べ，共生コンピューティングの導入による知見と各章の関連性について考察する．そして，今後の課題を挙げる．

第2章 オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイスの導出

2.1 はじめに

運動不足や過食等，生活習慣の不規則性から，肥満，高血圧，糖尿病等の生活習慣病患者が増加している．これらの患者は心臓病や脳卒中の恐れがあり，最悪の場合死にいたる．生活習慣病を防ぐためには，定期的に運動を行い，また食生活を改善する必要がある．そのようなことから，生活習慣の改善方法等，健康への関心が高まっており，健康についての情報提供などの支援活動も各種機関・組織で活発に行われている [5, 6, 7]．しかし，これら機関が提供する情報は従来のホームページ記述言語（html）で記述されているため，検索エンジンやエージェント等がそれら内容の意味を理解することができず，文字列によるパターンマッチングに基づく検索しか行えないため，的確な情報を得られなかったり，検索効率が悪化したりする等の課題があった．その結果，あらゆる健康状態に応じたそれぞれのアドバイス（適切な運動や食事とそれらの頻度，また，不適切な運動等）や，各運動や食事における効果等が混在して記載されている Web ページの中から，自分に合った改善方法を探すのは一般に難しく，利用者の立場からすると，自分の要求や健康状態に応じた情報やアドバイスを容易に取得できないという問題があった．

その解決策の1つとして，セマンティック・ウェブ技術の適用があげられる．セマンティック・ウェブ技術では，Web 上のすべての情報源に対してメタデータを付与し，それらを知識としてオントロジ [36, 37, 38, 39] により体系化できる．オントロジやメタデータを使用

することで、機械（ソフトウェアやエージェント）が各種情報の持つ意味について理解することができ、より効果的なサービス提供が行えると期待される。セマンティック・ウェブ技術を医療に応用した研究 [40, 41, 42] もある。

本論文ではセマンティック・ウェブ技術を利用し、人々の健康維持・促進、特に生活習慣病の改善のための健康アドバイス導出手法を提案する。本提案では、利用者からアドバイス要求があると、支援システムは利用者の健康情報や要求に応じて、その利用者に合った運動や食事のアドバイスを自動的に導出する。そのためには、健康や運動、食事に関する知識をシステムに与え、システム自身がその知識や利用者の健康状態の関係を考慮する必要がある。本研究では、的確なアドバイスを導出するために、健康と運動・食事についての知識、すなわち、これらドメインでの諸概念とそれらの間の関係をオントロジとして体系化する。オントロジにおいて、健康と運動、食事に関する知識は、それぞれ関連付けられているが、推論によりそれらの知識に新たな関係を導出し、それをアドバイスとして提供する。

本提案の特徴として、健康と運動・食事というドメインでのオントロジと推論の組み合わせによるアドバイス導出において、利用者の目標や健康状態を考慮した適切なアドバイス提供があげられる。本システムで導入するオントロジにおいて、人が持つ目標と運動や食事が持つ影響を等価な関係と定義した。そのようなオントロジと推論を組み合わせることで、人が持つ目標を達成するような影響を持つ運動や食事を理由も含めて勧めることが可能となる。また、利用者の健康状態によっては、行うことに問題がある運動や食べることに問題がある食事があることから、オントロジにおいて、運動や食事と、それぞれ行うことに問題がある健康状態を結びつけ、推論と組み合わせることで、行うことに問題がある運動や食事をアドバイスとして導出する。このとき、オントロジを用いた推論において、従来、表現されていない否定を導入することで、行うことに問題がある運動や食事は推奨するものとしては導出しないようにしている。オントロジを用いることで、推論で用いる知識の根拠や、知識の明示化が図れ、より信頼性のあるアドバイス提供が行える。

また、本提案を実行する健康支援システムのプロトタイプシステムの実装を行う。オントロジの表現には W3C（World Wide Web Consortium）で規定されている OWL（Web

Ontology Language) [43] を用いる。オントロジの具体的な記述には、オントロジ・エディタ Protégé[44, 45] を使用する。推論ルールを設計する際には、オントロジと対応してルール記述可能な言語 SWRL (Semantic Web Rule Language) [46] を用い、それを実行可能とするため Jess[47, 48] の形式に変換する。Jess は Java で記述された推論エンジンであり、Protégé で記述されたオントロジと高い互換性を持つ。また、Jess の推論方法は前向き推論を主体としており、導入する推論ルールも、その推論方法に基づいて設計する。これらを、Java プログラム技術、Web サーバ、DB エンジン、センサデバイス、モバイル端末と連携させることでシステム全体を構成している。

以上のように本研究では、健康と運動・食事というドメインでのオントロジを基盤とした支援システムの設計・実装において、既存の有用なツール群、技術群を効果的に組み合わせ使用し、システム化していることにも大きな特徴がある。支援システムの実装により、従来の情報提供システムでは各利用者に合った情報提供を行うことが困難であったが、健康をドメインとしたオントロジを導入した本支援システムでは、各利用者の目標や健康状態を考慮したアドバイス提供が行えるようになった。さらに、構築したシステムについて各種実験を行い、その実用性や有用性を評価・検証している。

検証結果から、本支援システムは、実用に耐えられるだけの性能があり、さらにはアドバイスの内容に関しても信頼性のあるものと評価した。このことから、本提案手法が人々の健康維持・促進につながると考えられる。

以下、2.2 節で関連研究について述べ、2.3 節では提案するオントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイス導出手法について説明する。2.4 節では提案手法を用いた支援システムの実装について述べ、2.5 節では支援システムを用いて評価を行い、その有用性を示す。最後に 2.6 節でまとめについて述べる。

2.2 関連研究とその課題

本節では、健康に関する情報提供やセマンティック Web 技術を用いた推論システムについての既存研究について説明し、その課題を述べる。

健康についての情報提供については、各種機関・組織で活発に行われている [5, 6, 7] .

しかし、これら機関が提供する情報は従来のホームページ記述言語 (html) で記述されているため、検索エンジンやエージェント等がそれら内容の意味を理解することができず、文字列によるパターンマッチングに基づく検索しか行えないため、的確な情報を得られなかったり、検索効率が悪化したりする等の課題があった。その結果、あらゆる健康状態に応じたそれぞれのアドバイス (適切な運動や食事とそれらの頻度、また、不適切な運動等) や、各運動や食事における効果等が混在して記載されている Web ページの中から、自分に合った改善方法を探すのは一般に難しく、利用者の立場からすると、自分の要求や健康状態に応じた情報やアドバイスを容易に取得できないという問題があった。

その解決策の1つとして、セマンティック・ウェブ技術の適用があげられる。セマンティック・ウェブ技術では、Web 上のすべての情報源に対してメタデータを付与し、それらを知識としてオントロジ [36, 37] により体系化できる。オントロジやメタデータを使用することで、機械 (ソフトウェアやエージェント) が各種情報の持つ意味について理解することができ、より効果的なサービス提供が行えると期待される。セマンティック・ウェブ技術を医療に応用した研究 [40, 41, 42] もある。医療を領域としたオントロジ構築に関する研究もある [40]。そこでは、Protégé を用いて透析と移植オントロジの構築を行い、OWL DL における利点や制限について述べている。また、セマンティック・ウェブ技術を医療や健康に応用した研究がいくつかある。その例として、脳疾患の症例管理 [41] がある。これは各種アプリケーションのデータを相互運用するために RDF を用いている。また、本研究ではセマンティック・ウェブ技術を用いて利用者の要求に基づいたアドバイスを導出しているが、同様にセマンティック・ウェブ技術を利用して利用者の要求から専門医を検索するサービス [42] もある。

これらはいずれもあらかじめ与えられていたオントロジのみの事実関係をたどり、情報提供を行っているため、柔軟性に欠ける。それに対して、本研究では、オントロジと推論を組み合わせることにより、オントロジに新たな事実関係を追加し、あらかじめ与えられている事実と新たに追加された事実関係に基づいてアドバイスを提供している。このことから、本研究ではより幅広く柔軟な状況に対応したアドバイス提供が可能になったとい

える．

また，セマンティック Web 技術を用いた推論システムに関する研究がいくつか存在する [49, 50, 51]．これらの文献では，いずれも一般的なオントロジ開発ツールである Protégé と推論エンジン Jess との関連性に着目し，Protégé で記述したオントロジや推論ルールを Jess にマッピングし，実際に推論を行うためのフレームワークを構築している．さらに family オントロジを用いて，その推論の実行例について述べている．しかし，これらの既存研究で開発されたフレームワークを使用した場合，マシンに膨大な負荷がかかり，システムのパフォーマンスが大幅に低下する．その結果，推論時間に関して，実際に測定した結果では 1 リクエストあたり 2 秒，2 リクエストあたりでは 11 秒を要し，実用性の観点から課題がある．

2.3 オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイス導出手法の提案

本章では，2.2 節で述べた課題を解決するため，オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイス導出手法を提案する．具体的には，健康と運動・食事に関するオントロジとして体系化し，そのオントロジに基づき，利用者の目標や健康状態に応じた適切なアドバイスを導出するための推論ルールを導入する．本節では，体系化した健康と運動・食事に関するオントロジ並びに，導入した推論ルールについて説明する．そして，オントロジと推論ルールに基づいたアドバイス導出のメカニズムについて述べる．

2.3.1 健康と運動・食事に関するオントロジ

本提案においては，人間の健康状態と運動，食事との関わりを記述するためにオントロジを用いる．オントロジを利用することで，従来の知識ベースでは表現されていない概念の意味や概念間の関係を表すことができる．特に本研究においては，人間の身体データや運動，食事の影響等の意味を機械が理解し，より適切な健康アドバイスが導出できると期

待される．

構築したオントロジの指針を述べる．まずオントロジを構築する範囲については，人に運動や食事のアドバイスを提供することを目的とし，人と運動，食事を中心の領域とする．まず人と運動との関わりについて注目し，その中で，どのようにして人に運動アドバイスを提供するかということを念頭におき，その中で重要な語句を概念化する．ここでは人が持つ目標を達成するような影響を持つ運動を推奨し，また健康データに悪影響を与える運動は推奨しない，などの考えから，人，運動，健康データ，目標，影響を概念と定義する．次にそれらの抽出した概念間にそれぞれ関係を定義していき，運動について基盤となるオントロジの構築を行う．また人と食事についても，運動と同様な方針をとることで，食事に関する基盤オントロジも構築でき，これらを合わせることで運動と食事に関する基盤オントロジを構築する．さらにより詳細なアドバイス提供を行うために，各クラスを詳細化していく．各クラスを詳細化していくうえでは，オントロジ特有の語彙である `rdfs:subClassOf` を使用して，クラスの階層化を中心に行う．詳細化（概念化）の粒度については，本支援システムで特に対象としている高血圧と肥満の改善のためのアドバイス提供を念頭におき，決定する．具体的には，アドバイスとして運動の種類を提供するため，たとえば，運動を有酸素運動や無酸素運動などに分類・階層化し，ウォーキングなどの具体的な運動をそれらの個体として与えるまでにしている．各運動の具体的な説明や方法等の詳細な情報についてはオントロジとしては表現せず，DB を用いて表現している．また，健康データについては，健康状態に適した運動の種類を特定するために必要となる身体データと病歴に分類し，具体的な身体データとして身長や体重，体脂肪率，最高血圧，最低血圧などを属性として与える．病歴は現病歴と既往歴に階層化し，それぞれ高血圧や肥満などの具体的な病気を持つような構造としている．

設計したオントロジの中核部分を図 2.1 に示す．オントロジの記述には OWL を用いる．楕円は概念（クラス）を表し，クラス間の関係（プロパティ）は矢印で表現される．さらにプロパティ名が矢印に付与されている．

このオントロジにおいて，人は健康データと目標を持っている．また，人は運動（食事）といくつかの関連がある．推奨される運動（食事）を `has 推奨運動`（`has 推奨食事`），行う

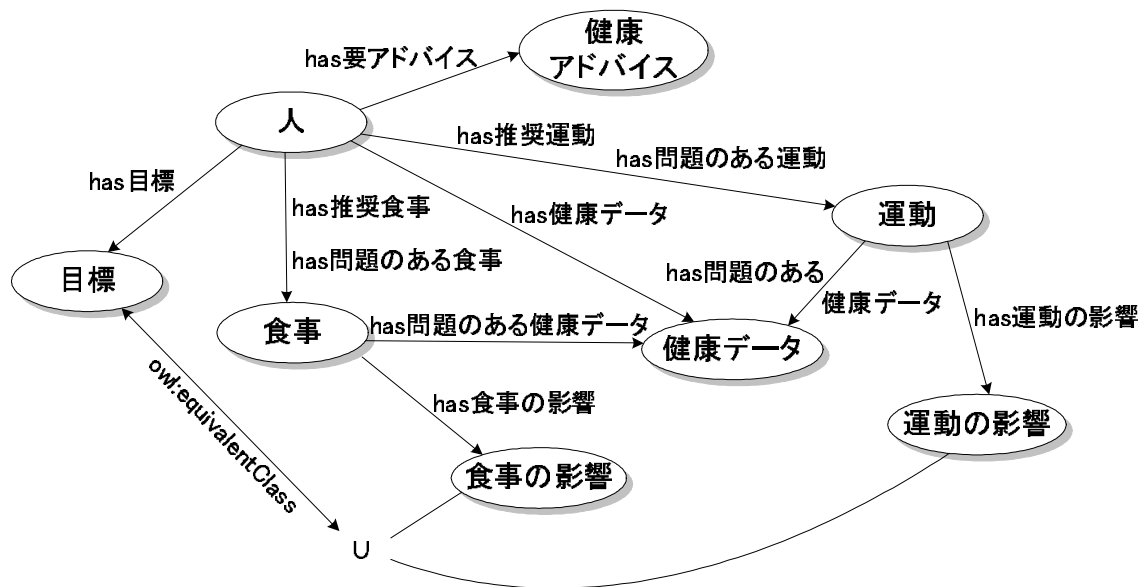


図 2.1: 健康と運動・食事に関するオントロジ

ことに問題のある運動（食事）を has 問題のある運動（has 問題のある食事）で示す．運動（食事）は運動の影響（食事の影響）を持ち，さらに，運動（食事）を行うのに問題のある健康データを持つ．健康アドバイスは人の目標達成のための運動（食事）についてのアドバイスを表している．目標と運動の影響（食事の影響）は同等クラスであり，ある人が行う運動の影響（食事の影響）が，その人の目標と一致することを想定している．また，図中では省略してあるが，健康データは身体データを持ち，身体データは身長，体重，血圧，BMI 等のデータ値をとるプロパティを持っている．さらに健康データは病歴を持ち，病歴は，現病歴，既往歴などのサブクラスを持つ．運動はサブクラスとして有酸素運動，無酸素運動，競技スポーツを持つ．

各クラスは実体（個体）を持っている．人は実際にシステムを利用する利用者を個体として持ち，健康データは各利用者の情報を個体として持つ．運動は“ジョギング”，“筋力トレーニング”，“水泳”などの具体的な運動を個体として持ち，食事は“ご飯”，“野菜サラダ”などの具体的な食事を個体として持つ．目標の個体には“心肺機能を高めたい”，“減量したい”，“骨を丈夫にしたい”，“癌を予防したい”等があり，運動の影響の個体には“心肺機能を高める”，“筋力を高める”，“減量”等がある．食事の影響には“骨を丈夫にす

る”，“貧血を予防する”，“癌を予防する”等のものが個体として存在する．健康アドバイスの個体には，“心肺機能を高めるためにジョギングをしましょう．”などの，具体的なアドバイスがある．

以下，健康データに関してはドメインを高血圧と肥満に絞り，議論する．

2.3.2 アドバイス導出のための推論ルール

前述したオントロジに基づいて健康アドバイスを提供する．具体的には推論エンジンがオントロジと推論ルールに基づいて推論を行い，適切な健康アドバイスを導出する．ここでは，アドバイスを導出するための推論ルールを導入し，その推論メカニズムについて述べる．

推論ルールの導入

適切な運動アドバイスや食事アドバイスを提供するために推論ルールを導入する．主なものとして，利用者の目標に適合した運動（食事）を推奨するものと，利用者の健康状態を考慮して，行うことに問題のある運動（食事）を提示するものがある．

推奨運動を導出する推論ルールは次のとおりである．ルールは SWRL に準じた形式で記述する．すなわち，

前提 \implies 結論

の形式で表現する．SWRL では否定は表現できないが，ここでは \sim を用いて否定を表す．この場合，ルール中のある要素 A が真と判定されることに失敗したときに $\sim A$ を真と解釈する（negation as failure）．

ルール PX

has 目標 (?p, ?g) \wedge 人 (?p) \wedge 目標 (?g) \wedge (I)

owl:sameAs(?g, ?e) \wedge 運動の影響 (?e) \wedge (II)

has 運動の影響 (?x, ?e) \wedge 運動 (?x) \wedge (III)

~has 問題のある運動 (?p, ?x) (IV)

⇒ has 推奨運動 (?p, ?x) ∧ (V)

has 要アドバイス (?p, “?p さん , ?g という (VI)

目標を達成するために , ?x を推奨します.”)

これは「ある人が目標を持ち (I) , その目標と同じ内容を表す運動の影響があつて (II) , ある運動がその影響を持っていて (III) , かつその人がその運動することに問題がない場合 (IV) , その人にその運動を勧める (V) ことを結論すると同時に , 適切なアドバイスを行う (VI)」ということを示すルールである .

さらに行うことに問題のある運動を導出する推論ルールは以下のようになる .

ルール NX

has 健康データ (?p, ?h) ∧ 人 (?p) ∧ 健康データ (?h) ∧ ①

has 問題のある健康データ (?x, ?h) ∧ 運動 (?x) ②

⇒ has 問題のある運動 (?p, ?x) ∧ ③

has 要アドバイス (?p, “?p さん , ?h という健康データを ④

持っていますので , ?x をしないことを勧めます.”)

これは「ある人が健康データ (たとえば , 心臓病) を持ち (①) , ある運動がその健康データを持っている人には問題がある場合 (②) , その人にその運動を勧めない (③) ことを結論すると同時に , 適切なアドバイスを行う (④)」ということを示すルールである .

これらのルールは運動に焦点を絞ったものであるが , 食事に関してはルール中の運動という語句の部分単に食事に代えることで同様に定義できる .

さらにこれら基本ルールに加えて , 推論の際に必要な事実関係を設定し , 推論結果の根拠を提示するためのルールも導入する . 以下にその一部を示す . なおルール中 , 「推論の根拠 (“...”)」とあるのは , 推論によりアドバイスを導出したときに , その結果にいたるまでの過程を , 推論の根拠として提示するためのもので , “...” に示す説明文をアドバイスの理由付けとして , 利用者に提示することを意味する .

ルール (A) 体脂肪燃焼と血圧降下の影響

を持つ運動を導出

有酸素運動 (?x)

⇒ has 運動の影響 (?x, “体脂肪燃焼”) ∧ has 運動の影響 (?x, “血圧降下”) ∧

推論の根拠 (“この運動は有酸素運動です．有酸素運動は体脂肪を燃焼させ，
血圧を下げる効果があります．息を切らさずに長時間行うことで効果が
得られます.”)

ルール (B) 筋力増強と血圧上昇の影響を

持つ運動を導出

無酸素運動 (?x)

⇒ has 運動の影響 (?x, “筋力増強”) ∧ has 運動の影響 (?x, “血圧上昇”) ∧

推論の根拠 (“この運動は無酸素運動です．無酸素運動は筋力を増強させ
ますが，息を止めて力むことで血圧が上がる可能性があるので注意が
必要です.”)

ルール (C) 肥満改善の運動を導出

運動 (?x) ∧ has 運動の影響 (?x, “体脂肪燃焼”)

⇒ has 運動の影響 (?x, “肥満改善”) ∧

推論の根拠 (“この運動を行うことで体脂肪が燃焼され，
肥満が改善されます.”)

ルール (D) 他の肥満改善の運動を導出

運動 (?x) ∧ has 運動の影響 (?x, “筋力増強”)

⇒ has 運動の影響 (?x, “肥満改善”) ∧

推論の根拠 (“この運動を行うことで筋力が増強されて
体脂肪が燃えやすい体となり，肥満が改善されます.”)

ルール (E) 高血圧改善の運動を導出

運動 (?x) \wedge has 運動の影響 (?x, “血圧降下”)

\Rightarrow has 運動の影響 (?x, “高血圧改善”) \wedge

推論の根拠 (“この運動には血圧を下げる効果があり，
高血圧が改善されます.”)

ルール (F) 高血圧に悪影響を持つ運動を導出

運動 (?x) \wedge has 運動の影響 (?x, “血圧上昇”)

\Rightarrow has 問題のある健康データ (?x, “高血圧”) \wedge

推論の根拠 (“この運動は行うことで血圧が上がる可能性があるので，高血圧の方には
お奨めできません.”)

上述したルール以外にも，利用者の問合せに応じて，肥満であるかどうか，高血圧であるかどうか，メタボリックシンドロームであるかどうか等を判定するルールや，減量プランを提示するルールがある．

推論のメカニズム

導入したルールに基づいて推論を行う．ここではそのメカニズムについて説明する．

利用者が目標を設定して，アドバイスを要求した場合，推論エンジンはまず利用者の情報を事実として設定し，同時に肥満や高血圧であるかどうかの判定を行い，その事実関係も設定する．推論を実行すると，まず運動の各サブクラスに対して，それぞれどのような影響があるかという関係を設定するようなルールが発火する．次に，各運動を行うことで，利用者にどのような影響があるか，またはその運動を行うことに問題のある健康データを設定するようなルールが発火する．その後，ルール NX が発火し，利用者の健康状態によっては，行うことに問題がある運動が導出され，利用者の要求によってはその運動が提示される．そしてルール PX が発火し，利用者の目標に合った推奨運動が導出される．このとき，ルール PX の前提条件により，ルール NX によって導出された運動は，推奨運動としては導出されない．

以下に例をあげて詳しく説明する．仮定する事実関係を次に示す．

事実関係

- ⇒ 人 (“A さん”) (1)
- ⇒ 目標 (“肥満を改善したい”) (2)
- ⇒ has 目標 (“A さん”, “肥満を改善したい”) (3)
- ⇒ 有酸素運動 (“ウォーキング”) (4)
- ⇒ 無酸素運動 (“筋力トレーニング”) (5)
- ⇒ 運動の影響 (“肥満改善”) (6)
- ⇒ owl:sameAs (“肥満を改善したい”, “肥満改善”) (7)
- ⇒ 運動の影響 (“体脂肪燃焼”) (8)
- ⇒ 運動の影響 (“血圧降下”) (9)
- ⇒ 運動の影響 (“筋力増強”) (10)
- ⇒ 運動の影響 (“血圧上昇”) (11)
- ⇒ 運動の影響 (“高血圧改善”) (12)
- ⇒ 健康データ (“高血圧”) (13)

ここでは，有酸素運動の個体としてウォーキングを，無酸素運動の個体として筋力トレーニングを定義している．今，有酸素運動と無酸素運動は，運動のサブクラスとして定義しているため，オントロジのクラス階層により，ウォーキングと筋力トレーニングは運動の個体でもある．したがってって，この場合に推論エンジンが推論を実行すると，事実 (4)，(5) より，ルール (A)，(B) が発火し，その結果，以下のような関係が事実として設定される．

- ⇒ has 運動の影響 (“ウォーキング”, “体脂肪燃焼”) (14)
- ⇒ has 運動の影響 (“ウォーキング”, “血圧降下”) (15)
- ⇒ has 運動の影響 (“筋力トレーニング”, “筋力増強”) (16)
- ⇒ has 運動の影響 (“筋力トレーニング”, “血圧上昇”) (17)

次に事実 (4), (5) と追加された事実 (14)~(17) より, ルール (C)~(F) が発火し, その結果, 以下のような関係が事実として設定される.

⇒ has 運動の影響 (“ウォーキング”, “肥満改善”) (18)

⇒ has 運動の影響 (“ウォーキング”, “高血圧改善”) (19)

⇒ has 運動の影響 (“筋力トレーニング”, “肥満改善”) (20)

⇒ has 問題のある健康データ (“筋力トレーニング”, “高血圧”) (21)

次にルール NX が適用されるが, この場合, 前提条件が成立しないので, このルールは発火せず, 行うことに問題がある運動は導出されない. 最後にルール PX において, 事実 (1), (2), (3) より前提 (I) が成立し, 事実 (6), (7) により前提 (II) が成立する. さらに事実 (4) と, 追加された事実 (18) によりルール PX の前提 (III) が成立する. このとき, has 問題のある運動 (“A さん”, “ウォーキング”) は満たされないため, 前提 (IV) が成立する (negation as failure). よってルール PX の前提部分はすべて成立し, 結論部分より, ウォーキングが推奨運動として導出される. さらに推論の根拠として「この運動は有酸素運動です. . . , 肥満が改善されます.」という内容がアドバイスの理由として提示される. またこの場合は同様にして, 筋力トレーニングも推奨運動として導出される.

次に, この例において, 以下のような事実関係を追加する.

⇒ has 健康データ (“A さん”, “高血圧”) (22)

このときに推論を実行した場合, 前に述べた例と同様にルール (A)~(F) が次々と発火し, 事実 (14)~(21) が設定される. このとき, ルール NX において, 事実 (1), (13), (22) より前提① が成立する. また事実 (5), (21) により, 前提② が成立する. よってルール NX が発火し, 以下の事実関係が設定される.

⇒ has 問題のある運動 (“A さん”, “筋力トレーニング”) (23)

そしてルール PX が発火し, 前述の例のようにウォーキングは推奨運動として導出されるが, 筋力トレーニングに関しては, 事実 (23) より, ルール PX の前提 (IV) が成立せず, 推奨運動としては導出されない.

このように、複数のルールを効果的に組み合わせて使用して推論することにより、利用者の目標や健康状態に適合した運動を推奨したり、行うことに問題のある運動を導出したたりしていくと同時に、その推論結果にいたる過程を、そのアドバイスの根拠として利用者に提示する。また、推論ルールに否定を導入することで、行うことに問題のある運動は推奨運動として導出しないようにしている。

2.3.3 その他アドバイスの提供

前述したように、推論ルールにより導出されるアドバイスとして、推奨運動があるが、具体的な方法や頻度についてまでは導出されない。そこで、より詳細な運動アドバイスを提示するために、運動DBの構築を行う。運動DBには、各種運動の情報を格納する運動テーブルがある。運動テーブルは運動ID、名前、説明、効果、方法、イラストの項目から構成されており、利用者の要求に応じて、システム中の推論エージェントが各運動についてのより詳細なアドバイスをDBから取得し、提示する。このとき、たとえばウォーキングの方法には、“ \cdots $\$name\$$ さんは $\$age\$$ 歳なので、心拍数が毎分 $\$heartRate\$$ 回になるように行くと良いでしょう \cdots ”のように記述されている。実際に運動アドバイスを提供する場合、推論エージェントが、“ $\$$ ”に挟まれた文字列を利用者の情報に変換して表示する。また同じ運動でも利用者の年齢によっては方法が違ってくる場合がある。このような場合に利用者の年齢に応じて適切な方法や頻度を提示させるために、個人アドバイステーブルを作成する。このテーブルは運動ID、年代、具体的アドバイスの項目から構成されており、それぞれの運動と年齢に応じたアドバイスが格納されている。

また、これ以外にも、利用者に合った減量プランをアドバイスとして提示する。これはまず利用者の身長から目標体重を決める。そこから1カ月あたりの目標減量を決め、さらに1日あたりの消費カロリーを算出する。求めた消費カロリーを運動と食事に割り振り、それぞれのカロリーを消費する運動量と、減らすべきカロリー分の食事の目安を表示する。また、計画的に減量した場合の予想減量グラフも表示する。さらに利用者には定期的に、体重や消費カロリーを測定し、センサデバイスから自動的に、あるいは手動で入力し

てもらい、その情報によっては、プランの内容を自動的に調整したり、ある一定期間ごとのプランを提示したり、これまでの経過を参照できるようにしている。

このように、本支援システムでは、利用者の様々な要求に応じた適切なアドバイスを提供する。

2.3.4 オントロジ・推論ルールの記述・設計にあたっての工夫点

本研究では、オントロジを利用し、健康や運動に関する知識の体系化を行った。具体的には健康や運動等の領域に関する重要概念をクラスとして表現し、それら概念間の関係や属性をプロパティとして定義した。さらに個体により、各概念を具体化した。また、オントロジの特徴でもある、階層関係を効果的に利用した。たとえば、運動の下位クラスとして有酸素運動や無酸素運動を定義した。これにより、運動クラスで定義した概念的な性質や関係を、有酸素運動や無酸素運動等の下位クラスも暗黙に保持することができ、より柔軟な知識表現となっている。プロパティに関しても、個体間の関係を定義するオブジェクトタイププロパティと属性を表すデータタイププロパティを必要に応じて使い分けて、定義した。オブジェクトタイププロパティはクラスにおける個体間の関係を表し、データ値をとることはできない。それに対して、データタイププロパティは数値や文字列等のデータ値（リテラル）をとるが、個体どうしを結びつけることはできない。これら2種類のプロパティを使い分けることで、各プロパティがどのような値をとるのかを明示的に表すことができる。

さらにこれらの性質を利用して、推論ルールの設計を行った。設計した推論ルールでは、クラスや個体、プロパティが成立することを前提条件にして、ルールを発火させ、それによって新たな事実関係を導出する。このとき、上位クラスの個体であるという前提条件を導入することで、下位クラスも含めて持つ共通の性質や個体を条件に発火させることができる。これら性質を生かした様々な前提条件を導入した複数の推論ルールを導入することで、各条件に基づいて推論ルールが連鎖的に発火し、最終的に利用者の要求に合った運動を推奨するアドバイスを導出している。またこの際、アドバイスの根拠をより明確

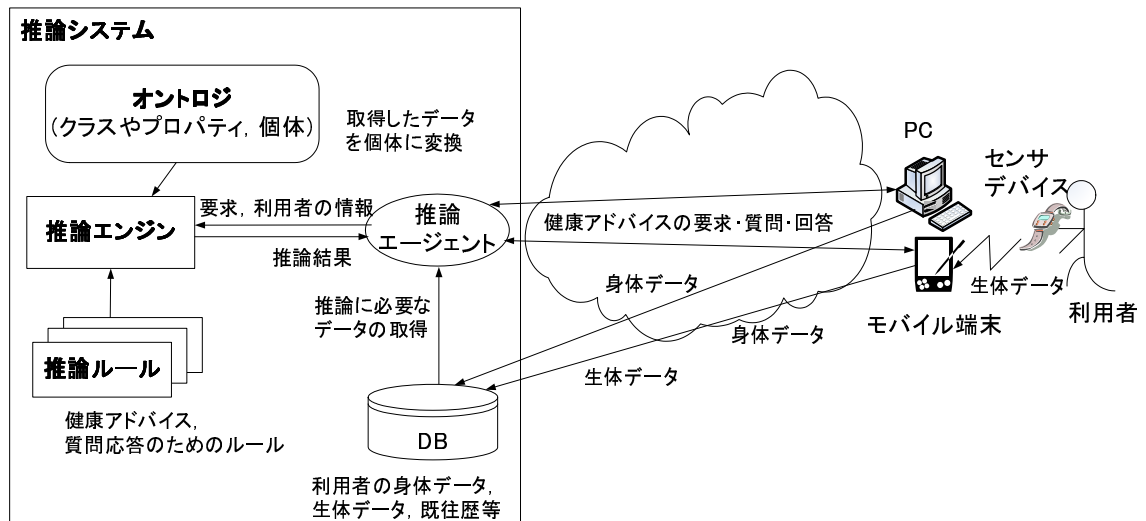


図 2.2: 支援システムの概要

にするために、推論過程もあわせて提示するようにルールを設計している。また、プロパティにおいて、データタイププロパティをしていた場合は、そのプロパティがとる数値についての比較、演算を行うこともできることから、身長や体重、血圧等をデータタイププロパティとして与え、それら値を比較、演算することで高血圧や肥満の判定を行うような推論ルールを導入した。

2.4 実装

2.4.1 支援システムの概要

提案手法を実行するための健康支援システムのプロトタイプシステム（以下、支援システム）の実装を行う。構築する支援システムの概要を図 2.2 に示す。利用者は Web ページにアクセスして、あらかじめ名前や年齢、身長等の個人データを入力しておく。また、利用者はセンサデバイスを装着し、それにより体重や血圧、体脂肪率や消費カロリー等、日々変化する動的な生体データを取得する。取得されたデータはモバイル端末を経由するか、もしくは手動でデータベースへ送られ、管理される。データベースには、利用者の各

種データが格納・管理される．名前や年齢，身長などの静的なデータを格納するテーブルはユーザ ID，ユーザ名，パスワード，名前，年齢，身長の 6 項目からなる．また，体重や血圧，体脂肪率等，動的なデータは別テーブルで管理される．各動的なデータを格納するテーブルは，ユーザ ID，測定日時，測定値の項目からなり，データの種類の数のテーブルを用意し，それぞれの利用者が定期的に測定するデータを格納していく．

これらのデータはアドバイス導出のために利用される．利用者が健康アドバイスの要求や運動・食事等についての何らかの質問をした場合，システム中の推論エージェントは，データベース中の利用者の年齢や身長等のデータ，センサデバイスで取得した脈拍や，血圧等のデータを取得し，推論エンジンに送信する．要求を受け取った推論エンジンは，あらかじめ与えられていたオントロジ，健康アドバイスや質問応答のためのルール，さらには受け取った利用者の情報をもとにして，推論を行い，利用者の健康状態に適したアドバイスや，質問に対する適切な回答を導き出す．導出されたアドバイスや回答は，Web ページ経由で利用者に提示される．

2.4.2 実装環境

支援システムの実装において，センサデバイスにはインテリジェントモニタ i-moni[52]，モバイル端末には FOMA M1000[53] を使用する．i-moni は歩数をカウントすると同時に，加速度や気圧等から歩行状態や走行状態，階段の上り下り等，人の動きを把握し，それに応じて，自動的に消費カロリーや運動強度を算出する．求めたデータは Bluetooth 通信によって FOMA M1000 に送信される．FOMA M1000 では送られたデータをデータベースに送信する．データベースエンジンには MySQL を使用する．

オントロジの記述にはオントロジ・エディタ Protégé を使用する．図 2.3 に前章で述べたオントロジを Protégé で記述している様子を示す．図中左側にはクラス階層が表示されており，ここでクラスの定義を行う．図中右側には選択したクラスのプロパティが表示されており，ここでは運動クラスが持つプロパティが表示されている．同様に個体の定義も行う．Protégé を用いると，OWL の構文を意識することなく，容易にオントロジの記述を行

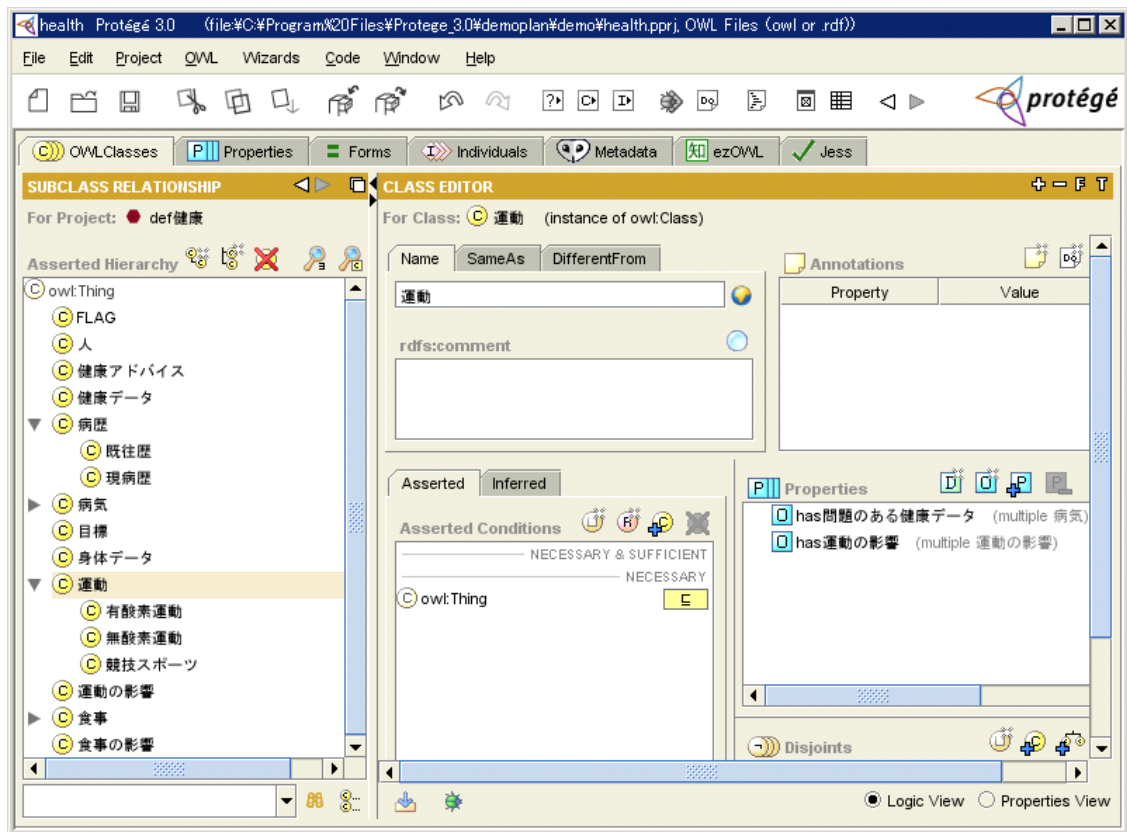


図 2.3: Protégé によるオントロジの記述

え，その内容をチェックすることができるため，本研究では Protégé を積極的に採用した．

さらに Protégé を用いてオントロジを記述し，内容を確認した後，推論エンジンである Jess で処理可能な形式に変換する．Jess は Protégé で記述するオントロジと密な親和性を持っており，本研究での推論にうまく適合している．以下に前章で述べたオントロジの Jess 形式の一部を示す．

```
(deftemplate owl:Thing (slot name))

(deftemplate 人 extends owl:Thing
  (slot 性別)
  (slot 年齢 (type INTEGER))
)
```

```

(deftemplate 目標 extends owl:Thing)
(deftemplate 健康データ extends owl:Thing)
(deftemplate 運動 extends owl:Thing)
(deftemplate 有酸素運動 extends 運動)
(deftemplate 無酸素運動 extends 運動)
(deftemplate 運動の影響 extends owl:Thing)

```

deftemplate でクラスを作成する . extends で、クラスの継承も行える。プロパティに関しては、個体についてそれぞれ設定する。以下で、個体とその関係の定義を行う。

```

(assert (目標 (name 肥満を改善したい)))
(assert (目標 (name 高血圧を改善したい)))
(assert (目標 (name 肥満改善の減量プラン
                                     が欲しい)))
(assert (目標 (name 自分に合わない運動が
                                     知りたい)))
(assert (運動の影響 (name 肥満改善)))
(assert (運動の影響 (name 高血圧改善)))
(assert (sameAs 肥満を改善したい
               肥満改善))
(assert (sameAs 高血圧を改善したい
               高血圧改善))
(assert (有酸素運動 (name ウォーキング)))
(assert (無酸素運動 (name 筋力トレーニング)))

```

ここでは、目標クラスと運動の影響クラスの個体を作成して、それぞれ sameAs という関係で結び付けている。また、有酸素運動の個体としてウォーキングを、無酸素運動の個体として筋力トレーニングを、それぞれ定義しているが、有酸素運動と無酸素運動は、運動のサブクラスとして定義しているため、Jess は、ウォーキングと筋力トレーニングは運

動の個体としても認識する．このように，Jess はオントロジにおける階層関係を容易に表現することができる．

また，各ルールも同様にして，Jess 形式で記述する．以下に例として，体脂肪燃焼と血圧降下の影響を持つ運動を導出するルール（Rule A）を示す．推論の根拠を導出するために，「has 推論の根拠 1」というプロパティを与えて，運動を行うことによる影響の説明文を関連付けている．

```
(defrule RuleA
  (有酸素運動 (name ?x))
  =>
  (assert (has 運動の影響 ?x 体脂肪燃焼))
  (assert (has 運動の影響 ?x 血圧降下))
  (assert (has 推論の根拠 1 ?x この運動は有酸素運動です．有酸素運動は体脂肪を燃焼させ，
    血圧を下げる効果があります．息を切らさず
    に長時間行うことで効果が得られます．))
  )
```

上のルールと関連して，肥満改善の運動を導出するルール（Rule C）を Jess 形式で記述すると以下ようになる．推論の根拠を導出するために，「has 推論の根拠 2」というプロパティを与えて，各運動と影響名，そして行うことにより得られる効果についての説明文を関連付けている．

```
(defrule RuleC
  (and
    (運動 (name ?x))
    (has 運動の影響 ?x 体脂肪燃焼)
  )
```

=>

```
(assert (has 運動の影響 ?x 肥満改善))  
(assert (has 推論の根拠 2 ?x 肥満改善 この  
    運動を行うことで体脂肪が燃焼され，肥満  
    が改善されます．))  
)
```

次に，ルールNX とルールPX の Jess 形式を以下に示す．

```
(defrule RuleNX  
  (and  
    (人 (name ?p)) (健康データ (name ?d))  
    (has 健康データ ?p ?d)  
    (病気 (name ?i)) (has 病歴 ?d ?i)  
    (運動 (name ?x))  
    (has 問題のある健康データ ?x ?i)  
  )  
=>  
  (assert (has 問題のある運動 ?p ?x))  
)  
  
(defrule RulePX  
  (and  
    (人 (name ?p)) (目標 (name ?g))  
    (has 目標 ?p ?g)  
    (運動 (name ?x)) (運動の影響 (name ?e))  
    (has 運動の影響 ?x ?e) (sameAs ?g ?e)  
    (not (has 問題のある運動 ?p ?x))  
    (has 推論の根拠 1 ?x ?s)  
  )
```



```

    (has 推論の根拠 2 ?x ?e ?k)
  )
=>
(assert (has 推奨運動 ?p ?x))
(bind $?*result* (str-cat ?*result* $
  ?p"さん, "?e"のために"?x"を推奨します. "
  ?k ?s))
)

```

ルールNXで、行うことに問題のある運動を導出し、ルールPXでは、推奨運動を導出する。このとき、ルールNXで導出された運動は、推奨運動としては導出されない。また、その他ルールにより追加された推論の根拠を取得し、それを“?*result*”というJessの変数に格納し、これをアドバイスの理由として利用者に提示する。これらに示すJess形式で記述したオントロジと推論ルールはJessにあらかじめ入力しておく。

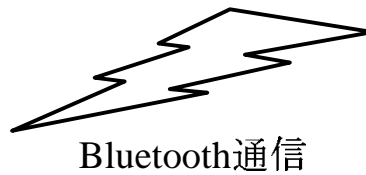
推論エンジンに推論の実行を促し、得られた推論結果を利用者に提示するには、推論エージェントを実装して行う。推論エージェントは利用者から健康アドバイスの要求があると、データベースから推論に必要な利用者の情報を取得し、推論エンジン中の事実に設定する。そして推論エンジンに推論の実行を促し、推論エンジンから得られた推論結果を健康アドバイスとしてWebページ上に提示する。

2.4.3 実行例

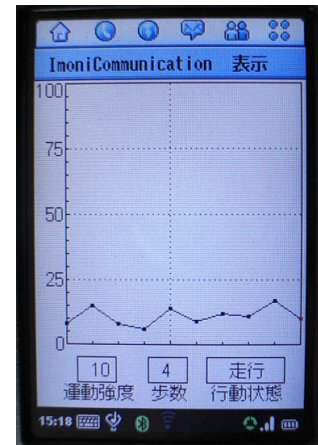
以下に支援システムの実行例を示す。まず利用者はアドバイス導出のために必要とする身体データを入力する必要がある。この際、利用者の利便性を考えると、センサデバイスによる自動取得が望ましいが、必要に応じて、利用者自身が手入力でデータを与える。この例では、センサデバイス i-moni を使用する。これらデバイスにより、運動強度や消費カロリーなどのデータが自動的に取得され、モバイル端末 FOMA M1000 に送られ、閲覧できる。図 2.4 は i-moni により測定したデータを FOMA M1000 で提示する様子を示し



i-moni



Bluetooth通信



FOMA M1000

図 2.4: 運動強度の測定

ている．図中のグラフの縦軸は運動強度を，横軸は時間を表しており，1 秒ごとの運動強度や歩数，さらには測定時の行動が示されている．測定が終了すると，データは自動的に FOMA M1000 から推論エージェントへ送られる．推論エージェントでは受け取ったデータを利用者 ID，測定時刻，測定値の項目からなるデータベース中のテーブルに格納する．そのほか，身長や体重，血圧等のデータは利用者自身で入力する．利用者はこれらデータを利用して導出されたアドバイスを得ることができる．その場合，図 2.5 に示すように，利用者は Web ページにアクセスして目標を選択し，健康アドバイスを要求する．アドバイスを要求すると，推論エージェントが DB から身長や体重等必要な利用者の情報を取得する．Jess は変数を扱う場合，データ型を指定する性質があるため，データベースのスキーマと同じデータ型を Jess で指定して，それぞれのデータを Jess で扱えるように，事実として設定する．そして前章で述べたように，推論エンジンはオントロジやルール，さらには利用者の情報等に基づいて推論を行う．推論エンジンからの推論結果を受け取った推論エージェントは，その情報を利用者に，アドバイスとして提示する．図 2.6 には，推論結果として，推奨運動が提示された様子を示す．画面下部には推論の根拠として，アドバイスの理由が述べられている．このとき，得られた運動を選択すると，推論エージェントがその運動に関する情報を DB から取得し，図 2.6 右側に示すように，選択した運動につい

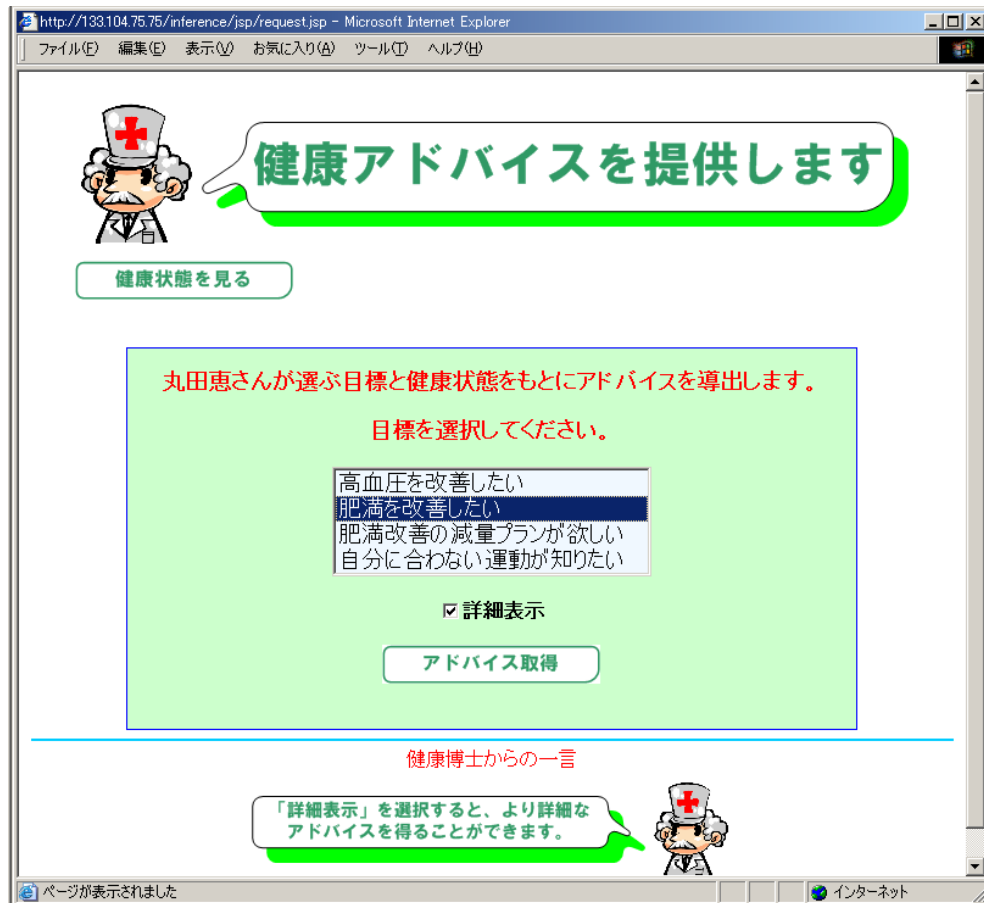


図 2.5: 目標の選択

ての詳細な説明や、各利用者の健康状態に応じた頻度など、各利用者に特化したアドバイスを提示する。

また、図 2.7 には減量プランを要求したときに、提示される内容を示す。利用者の現在の身体データや、標準体重、1日の消費カロリーやその目安、さらには減量予想グラフ等が表示されている。また、i-moni により取得した利用者の消費カロリーを利用し、算出した1日の消費カロリーと照合し、場合によってはプランの内容を自動的に調整する。

このようにして利用者はネットワークを通じて、目標や健康状態に応じた健康アドバイスを容易に取得することができる。

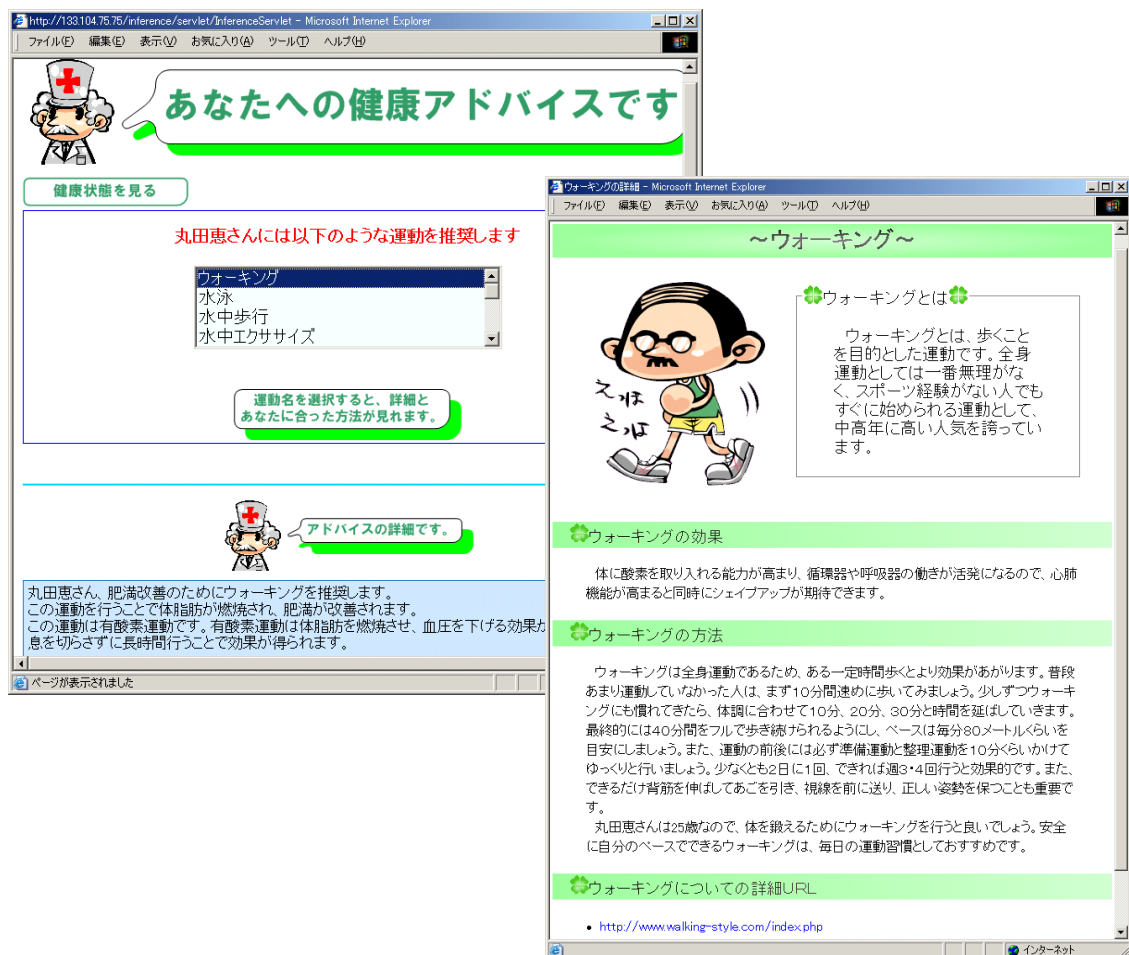


図 2.6: 推奨運動と運動の詳細なアドバイスの提示

2.4.4 システム実装にあたっての工夫点

オントロジを用いた推論システムの実装にあたっての工夫点

設計・記述したオントロジならびに推論ルールを用いて実際に推論を実行する推論システムの実装を行った。推論システムの中核となる推論エンジンには Jess を使用している。オントロジや推論ルールは OWL, SWRL などの言語を利用し、記述している。OWL とは W3C によって規定された標準的なオントロジ記述言語である。SWRL は W3C によって標準化されたルール言語であり、オントロジに基づいて If-then 形式で記述される。Jess は Java で記述された高速軽量のルールエンジンであり、エキスパートシステムを構築する

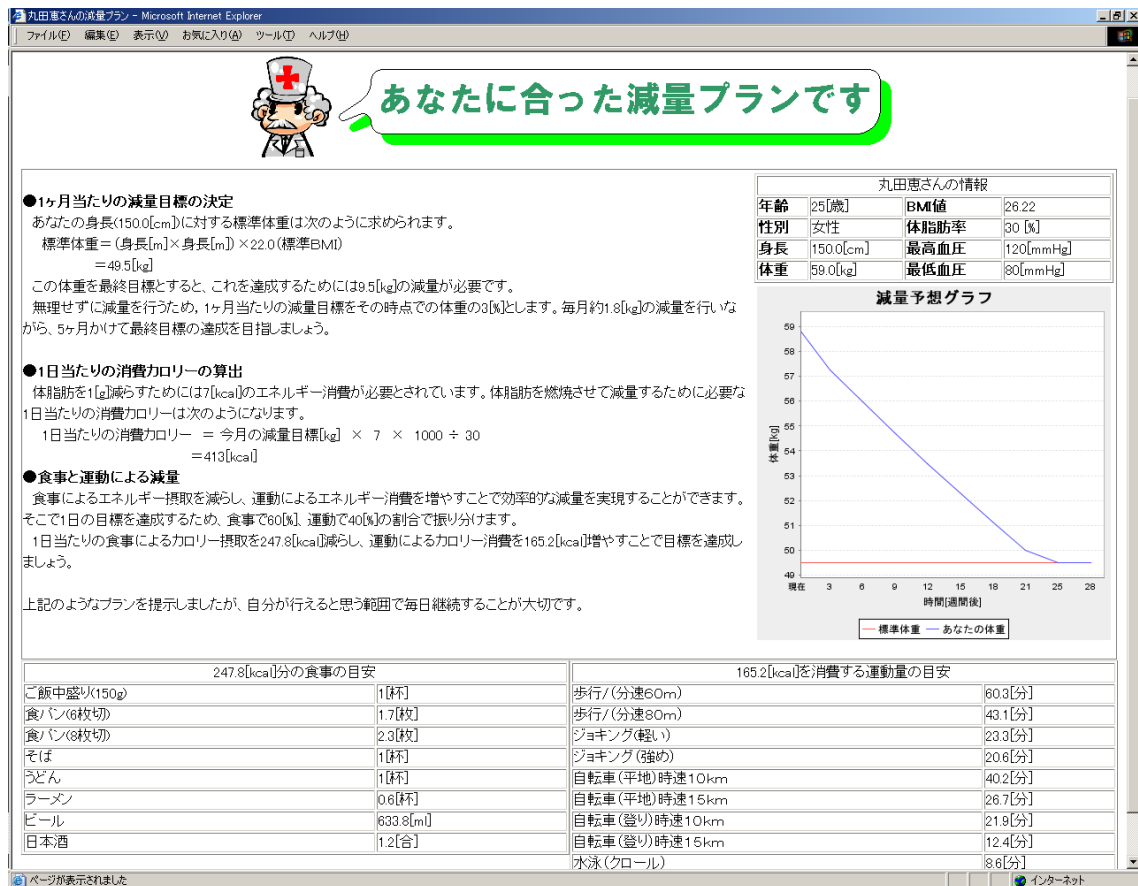


図 2.7: 減量プランの提示

ために用いられてきた．これらは異なる機関・団体で規定・構築されたが，高い関連性を持っており，OWL で表現されたクラスやプロパティ，さらには個体等の記述や SWRL で表現された推論ルールを，その性質を保持したまま Jess で扱うことができる．また OWL の特徴の 1 つである階層関係も，Jess で表現可能である．このように OWL，SWRL 等の言語で記述したオントロジや推論ルールを，Jess というツールにマッピングすることで，言語レベルで表現された内容を保持したまま，ツールレベルでの推論の実行を可能としている．これらの関連性に着目し，OWL，SWRL で表現された内容を自動的に Jess にマッピングするフレームワークを構築した研究もある [49, 50, 51]．これらフレームワークを使用することで，OWL，SWRL によって表現されたクラスやその階層関係，個体，オブジェクトタイププロパティならびにそれらを含んだ推論ルール等を Jess に自動的にマッピ

ングし、推論を実行可能としている。しかしこれらのフレームワークでは、データタイププロパティや値比較を含むルール等に関しては自動的にマッピングすることができず、さらには手続き型の処理を呼び出すルールや Jess の変数を使用して推論の過程をとらえる処理を加えた推論ルールに関してはフレームワーク上で記述することができない。また 2.2 節で述べたように、これらのフレームワークは実用性の観点から課題がある。そこで本研究ではこれらのフレームワークで行っている自動変換を参考にし、OWL、SWRL で記述したオントロジならびに推論ルールを手動で変換し、Jess で実行可能な形式とした。また、アドバイス導出の際に、アドバイスの根拠を示す推論過程を提示するために Jess の変数を利用した。各推論ルールが発火した際に、ルールごとの説明文を Jess の変数に追加・格納することで推論過程を保持し、最終的にその変数の内容をアドバイスの根拠として、図 2.6 の左側に示すウィンドウの下部に提示している。また Java クラスのメソッドを呼び出せるという Jess の特性を利用し、新たな事実関係を追加するだけでなく、各種手続き（たとえば、目標体重や減量分の体重、目標日数等を含めた減量プランの算出）を呼び出すような推論ルールの実装も行った。

他のシステムとの連携にあたっての工夫点

本支援システムにおける特徴として、オントロジに基づいた推論システムを DB システムと連携している点があげられる。本支援システムでは利用者の健康状態や運動の影響等の関連に関する知識を、オントロジを用いて表現している。オントロジは概念的な定義・関係を容易に記述することが可能で、より高度な知識表現が可能であるが、利用者が利用した時点の健康状態を表現するオントロジ自体に、体重や血圧等の日々変化する値を予め与えておくことは適切ではない。また不特定多数の利用者が使用するシステムにおいて、年齢や性別等、各利用者の個人情報であらかじめオントロジに個体として与えておくことは柔軟性に欠ける。そこで本支援システムにおいては、運動や健康状態における概念的な一般知識と、各運動の種類や具体的な目標等長期にわたってさほど変化しない事実関係に関しては、知識表現力の高いオントロジとしてあらかじめ与えておき、そのほか、時間経

過とともに短期間で変化する利用者の情報に関しては、データの保守性の高いDBで管理するシステム構成を採用した。実際に利用者が健康アドバイスを要求した場合は、DBから利用者の情報を取得し、それをオントロジの個体として与えて推論を実行することで、利用者の目標や健康状態を考慮したアドバイス提供を行う。

また同様なことから、各利用者や運動ごとに変化する効果や方法等の説明文をオントロジとして格納しておくのは適切ではない。したがって各運動の詳細な情報をDBで管理している。推論結果より導出された推奨運動に対して、利用者がより詳細な情報を求めると、その運動と利用者の情報に適した詳細情報をDBから取得し、図2.6右側に示すように各利用者にあった詳細な運動情報として提示する。

このように本支援システムでは、知識表現力の高いオントロジと、データの保守性の高いDBを組み合わせることで、効率の良いアドバイス提供を行うことを可能としている。

2.5 実験・評価

本節では、構築した支援システムの評価を行い、その有効性を示す。

2.5.1 運用試験

利用者レベルの評価を得ることを目的として、支援システムの運用試験を行った。対象となる利用者は健康改善に興味・関心がある20代から60代の一般男女計20名で、学内サーバに設置した支援システムを、学内PCからアクセスして、使用してもらった。具体的には、まず各利用者は名前や年齢、身長や体重等、アドバイス導出に必要な個人データを測定・入力する。そして各自の目標を選択し、アドバイスを要求する。それにより導出されたアドバイスの内容についての意見を参考にした。これを月に1度のペースで半年間行い、最後に「選択できる目標の数」、「運動の種類数」、「運動アドバイスの満足度」、「Webページのデザイン」、「システムの使い勝手の良さ」等についてアンケートを行った。

アドバイスの満足度に関して回答した14名分のアンケート結果を表2.1に示す。表が

表 2.1: アドバイスの満足度についてのアンケート結果

	満足	普通	不満足
運動アドバイスの満足度	7	7	0
詳細アドバイスの満足度	1	13	0

ら分かるようにアドバイスの内容については全員が普通，もしくは満足したという意見であった．その主な理由としては，利用者の健康状態や目標を考慮したアドバイス提供が行えていることがあげられた．例として，同一利用者が「肥満を改善したい」と「高血圧を改善したい」という異なる目標を選択したときに導出されるアドバイス内容を図 2.8 に示す．図 2.8(a) には「肥満を改善したい」という目標を選択した場合のアドバイスを，同図 (b) には「高血圧を改善したい」という目標を選択した場合のアドバイスを示している．図から分かるように，それぞれの目標に応じてアドバイス内容やその提示理由が変化している．本支援システムに導入したオントロジにおいて，目標と運動の影響を等価な関係と定義したことで，各目標と一致する影響を持つ運動を推論により導出することが可能となった．このことから各目標に合った健康アドバイスが導出されることが可能となったといえる．

また，健康状態の異なる利用者がそれぞれ同じ目標を選択した場合に導出されるアドバイス内容を図 2.9 に示す．図 2.9(a) には正常血圧である利用者が，同図 (b) には高血圧である利用者が，それぞれ「肥満を改善したい」という目標を選択したときに表示されるアドバイス内容を示している．図から，正常血圧である利用者には腕立て伏せや筋力トレーニング等の負荷が高い運動が推奨されているが，高血圧である利用者にはそれら負荷がかかる運動は推奨されていないことが分かる．本システムに導入したオントロジにおいて，運動には行うことに問題がある健康状態があると定義しており，推論ルールによって各利用者の健康状態に応じて，行うことに問題がある運動を導出している．また推奨運動を導出する推論ルールにおいて，否定を導入することで，行うことに問題がある運動は推奨運動としては導出されない．このように本支援システムでは，利用者の健康状態や目標を考慮して，推奨運動や非推奨運動をアドバイスとして，理由も含めて導出することが可能と

なっている。

さらには、各運動の詳細なアドバイスにおいては、利用者の年齢や性別等に応じて、適切なものとなるよう、アドバイスの内容を変えており、よりきめ細かいアドバイスが提示されていることがあげられた。また、Web ページ上でいつでも手軽にアドバイスを得ることができるということも好評の要因としてあげられた。

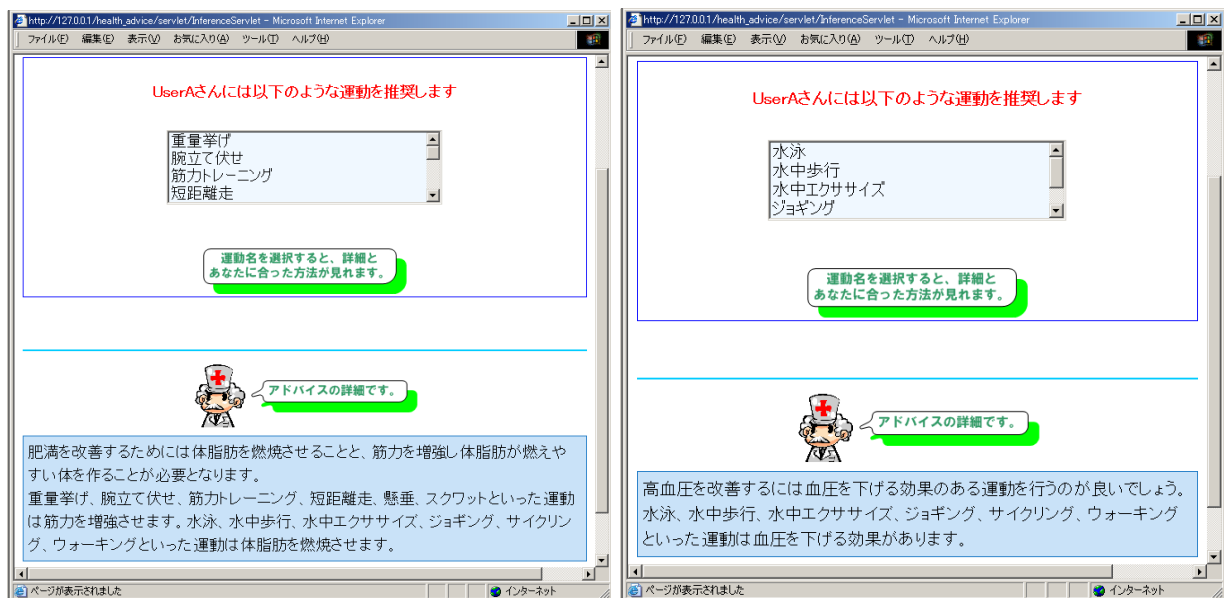
選択できる目標の種類や、提示される運動の種類は全体的に少ないという意見が見られた。現在の支援システムは、肥満と高血圧の改善に焦点を当てて構築した知識を使用しているプロトタイプシステムであるため、目標やアドバイスの種類は豊富ではないが、これは病気や運動に対して領域を広げ、それら知識を拡張していくことで改善することができる。さらには、「各自に合った運動量や運動時間、その消費カロリーをより具体的に提示してほしい」という意見が見られた。これは各運動の情報を格納している DB の内容をより詳細にしていくことで、改善できる。

システムが提供するアドバイスの内容や各種情報については、厚生労働省等信頼のある機関から提供されている情報をもとに作成した。さらに、専門家の協力のもと、内容の確認・修正を行った。このことから、アドバイスの内容も信頼性のあるものとなっているといえる。

2.5.2 オントロジによる利点

信頼性

オントロジを利用することで、健康や運動等の領域における概念とその関係の定義を含めた知識を構成することが可能となった。従来の知識ベースでは“A さん”や“ウォーキング”等の個体に「意味付け」がされておらず、それらの間にも自由に関係を記述することができる。したがって、矛盾した知識や間違った知識を記述する可能性がある。しかしオントロジを利用することで、“A さん”は“人間”で、“ウォーキング”は“運動”である等のように各個体に対して「意味付け」を行うことができる。また概念的に“人間”と“運動”との間になんらかの関係を定義した場合（たとえば、推奨運動等）、それら個体間の関係



(a) 「肥満改善」のアドバイス

(b) 「高血圧改善」のアドバイス

図 2.8: 目標ごとに応じたアドバイス提供

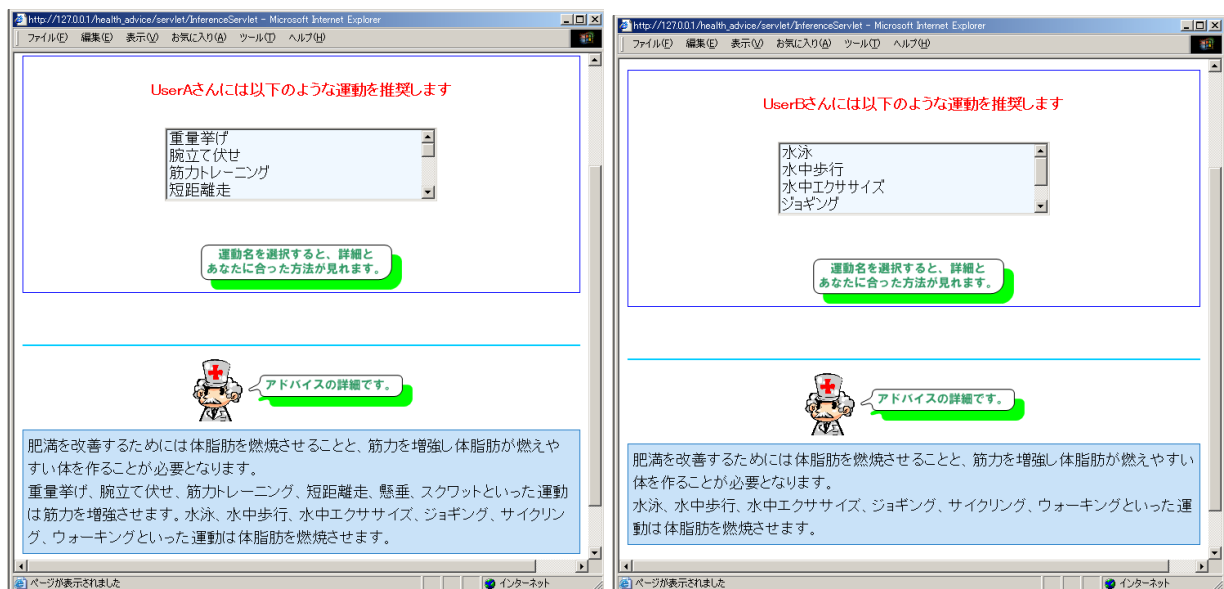
についても概念間で定義した関係に基づいて記述され、概念間で定義されていない関係は記述できない。つまり“Aさんは運動を持つ”等のように矛盾した知識や間違った知識の記述の低減につながる。このことから、より信頼性のある知識を明示的に表現でき、さらにその知識に基づいてアドバイスを生成することで、より信頼性の高いアドバイスを導出・提供することができるといえる。

記述量・柔軟性

オントロジ特有の語彙である、

- `rdfs:subClassOf`
- `owl:sameAs`

を利用することで、階層関係や同一性を表現することができ、さらに推論を組み合わせることで概念間関係をたどり、明示的に記述されていない事象への対処が可能となる。これ



(a) 正常血圧である利用者へのアドバイス

(b) 高血圧である利用者へのアドバイス

図 2.9: 健康状態を考慮したアドバイス提供

は、各利用者の健康状態とその対処を断定的に記述する方法と比較して、対応可能な状況の幅が広いという利点がある。また、厳密に事実関係を想定しながら網羅的に知識を記述する必要がないため、全体の知識の記述量も低減した。

また、本研究では用いていないが、

- owl:inverseOf (反対関係)
- owl:TransitiveProperty (推移関係)
- owl:SymmetricProperty (対称関係)

などのオントロジ特有の語彙を組み合わせることで、より柔軟で知的な知識体系を記述することができる。

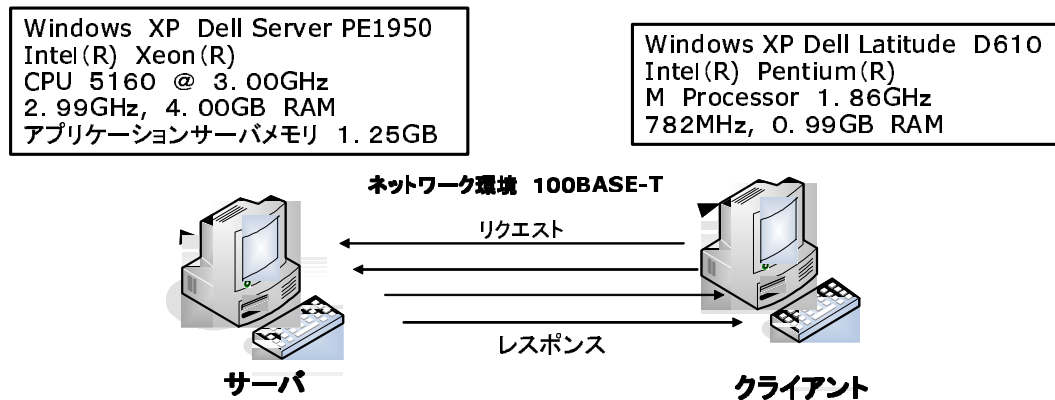


図 2.10: 試験環境

2.5.3 性能試験

本研究では支援システムの実用性を評価するために、性能試験を行った。一般的に、Web ページが表示されるまで、3 秒以内でないと利用者は待たされている印象を受けるといわれている（このことは3 秒ルールといわれている）。そこで、今回は3 秒以内に応答が返ってくることを基準と定め、試験を行った。試験環境を図 2.10 に示す。小規模から中規模の LAN 環境において、100 名の利用者が同時にアドバイスを要求することを想定する。具体的方法としては、まず、サーバに支援システムを構築する。そしてクライアントから、本システムの典型的なアドバイス要求の1 つである「肥満を改善したい」という目標を選択して、健康アドバイスを要求・取得する。これを1 リクエストとして、クライアントからサーバに1 秒間あたり N 個のリクエストを送信し、それを50 回繰り返したときの応答に要した最大時間と平均時間を測定する。表 2.2 に、使用する利用者情報を示す。試験では、推論パターンが違ふことから、利用者情報として、正常血圧の場合と、高血圧の場合の2 パターンを測定する。また、オントロジの規模は、クラス数が15 個、あらかじめ与えている個体が103 個（うち運動クラスの個体は14 個）であり、25 個の推論ルールを用意した。

図 2.11 に1 秒間あたりのリクエスト数に対するサーバの平均応答時間を示す。図から分かるように、正常血圧のときよりも、高血圧のときの方が、レスポンスに時間がかかっ

表 2.2: 性能試験で使用する利用者情報

	正常血圧である利用者	高血圧である利用者
名前	A	A
年齢	22	22
性別	男性	男性
身長 (cm)	175	175
体重 (kg)	60	60
体脂肪率 (%)	10	10
最高血圧 (mmHg)	120	140
最低血圧 (mmHg)	75	120

ている．これは，2.3.2 項で述べたように高血圧の場合は，行うことに問題がある運動を導出することから，発火するルール数が増える．そのため，推論により時間がかかったためである．事実，高血圧の場合はルールが 57 回発火し，正常血圧の場合は 52 回，ルールが発火した．この場合，どちらのケースでも，1 秒間のリクエスト数が 100 回の場合でも，応答時間が 1 秒以内となっており，十分，実用化に耐えられることが分かった．

リクエスト数に対するサーバの最大応答時間についても評価を行った．図 2.12 にそのグラフを示す．図から分かるように，1 秒間のリクエスト数が 100 回の場合でも，最大応答時間は 3 秒以内に収まっている．これは，100 名の利用者が同時に健康アドバイスを要求した場合でも，利用者は待たされていると感じることなくアドバイスを取得することができることを意味している．

2.6 おわりに

本章では，利用者の目標や健康状態に応じた，利用者が満足する情報やアドバイスを自動生成することが困難，すなわち支援システムから利用者への高度なアドバイス提供に関する課題を解決するために，オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健

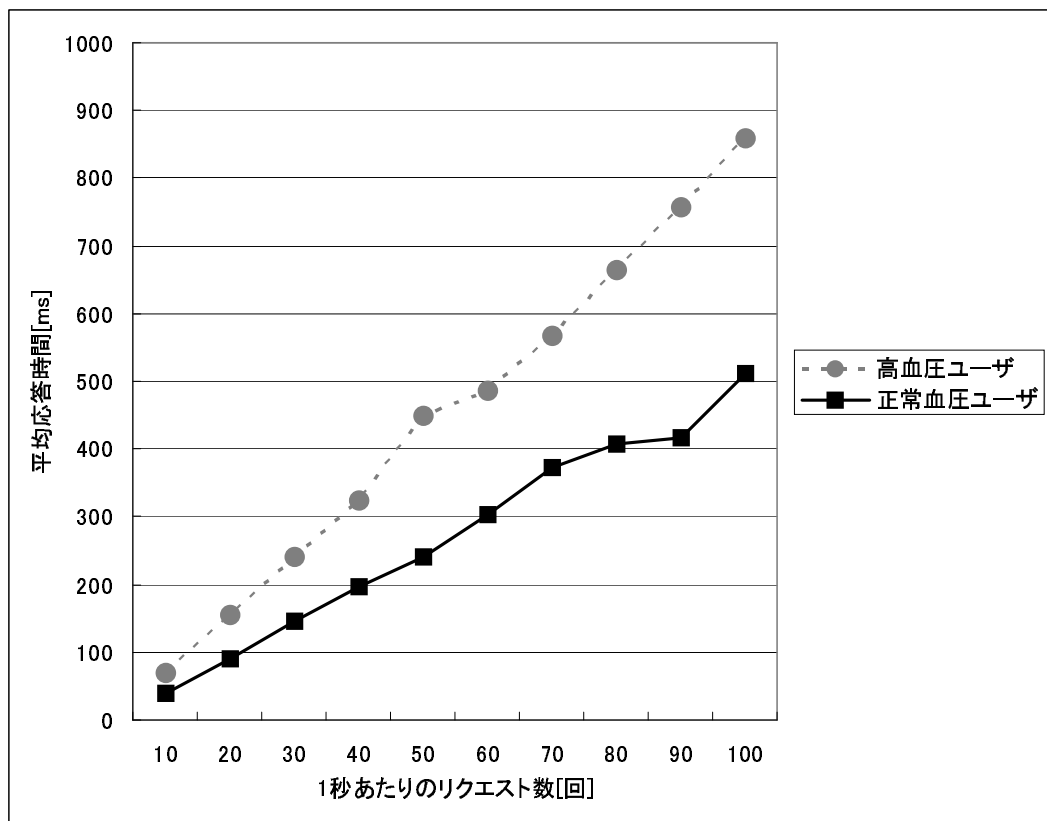


図 2.11: 1 秒あたりのリクエスト数に対する平均応答時間

康アドバイス導出手法を提案した．具体的には，健康に関する領域オントロジを構築し，またそれに基づいて適切なアドバイスを導出するための推論ルールを導入した．さらに，提案手法を実行するための推論システムの構築を行った．提案手法により利用者の目標や健康状態に応じて利用者が満足する適切な健康アドバイス導出が可能となった．

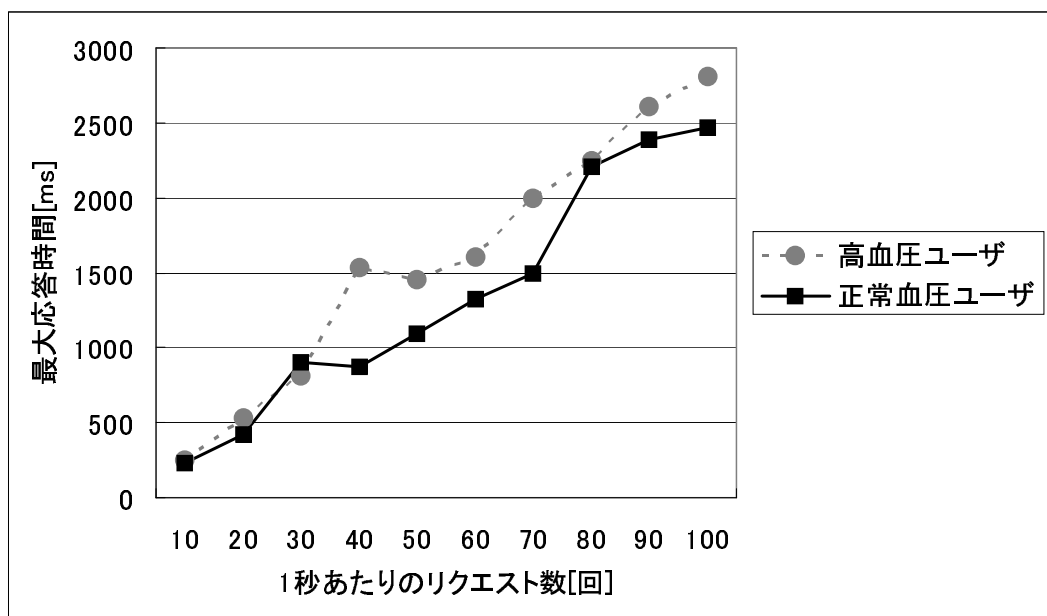


図 2.12: 1 秒あたりのリクエスト数に対する最大応答時間

第3章 利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシー保護レベル要求の動的生成

3.1 はじめに

近年，広域ネットワークを介して児童や高齢者の様子をビデオ映像で遠隔地から見守るシステムとして，リアルタイムマルチメディア見守り支援システム（以下，単に「見守り支援システム」と略記）が普及してきている．また，見守り支援システムのユビキタスコンピューティング環境へ適用が試みられている [54, 55, 56]．例として，対象物に最も近いカメラの選択を行い配信するシステム [57, 58] や，最寄のディスプレイに映像をシームレスに配信するシステム [59, 60] などがある．

しかし，これら既存研究では利用者の位置情報のみで利用者の状況を特定しているため，健康状態が悪化する等，見守られる人が危険な状況に陥った場合や，見守られる人がプライバシーの保護を要求する場合に柔軟に対応できない．見守り支援システムにおいて，なるべく利用者の手間をかけずに，自立的に利用者の状態や要求を判断し，的確なサービスを能動的に提供する，安心・安全な見守りサービスを実現する必要がある．

そのためには，見守られる人の状況を，実空間から取得されたセンサデータを利用して判断する必要がある．さらに，適切なプライバシーレベルの特定のため，見守られる人と見守る人との間の社会的関係（例えば，家族関係や友人関係等）を的確に捉える必要がある．これらを実現するためのシステムとしてユビキタス環境向け見守り支援システムである uEyes[29, 30, 31, 32, 33, 34, 35] がある．

uEyes において、社会的知識を用いて利用者の状況や人間関係を認識する機能であるソーシャル・コンテキスト・アウェアネス [34, 35] を導入している。ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスにより実空間から得られる情報と人間関係、一般的な高齢者の振舞い、利用者の生活習慣など社会的知識を効果的に組み合わせて、的確なサービス提供を行うことが可能となる。

文献 [34] では、ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの基本設計について述べられている。文献 [35] では、ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの詳細な設計と実装、さらに他のコンポーネントとの連携による実行例が示されている。本章では、より現実世界の様々な状況に対応可能となるよう、ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスを拡張するための、利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシー保護レベル要求の動的生成手法を提案する。具体的には周期的な振舞いを記述するため、時間概念をオントロジに導入する。

提案手法を uEyes のプロトタイプシステムに組み込み、実装し、実験を通じて、提案の有効性を検証する。実験結果から、提案手法によって、ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの機能が向上し、より利用者の生活に密接したプライバシーレベルとサービス品質の動的生成が可能となったことを確認した。

以下、3.2 節で関連研究について述べ、3.3 節で、既存の高齢者見守り支援システム uEyes について説明する。3.4 節では提案する利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシーレベル要求の動的生成手法について説明する。3.5 節では提案手法を用いた見守り支援システムのプロトタイプの実装について述べ、3.6 節では実装したプロトタイプシステムを用いて評価を行い、その有用性を示す。最後に 3.7 節でまとめについて述べる。

3.2 関連研究とその課題

リアルタイムマルチメディア見守りシステムをユビキタス情報環境に応用した研究がいくつかある。例えば、対象物に最も近いカメラの選択を行い配信するシステム [57, 58]

や、最寄のディスプレイに映像をシームレスに配信するシステム [59, 60] などがある。

これら研究で開発されたシステムでは、利用者に電子タグを持たせ、そのタグから得られた位置情報に基づいてカメラやディスプレイを選択し、映像配信サービスを提供する。しかし、実際に見守り支援における状況を考えると、いくつかの制限が考えられる。例えば、見守られている人のタグが低い位置にあると認識した場合、これらシステムは見守られる人は正常に寝ているのか、倒れていて危険な状況にあるかの判断ができない。なぜなら、これらシステムは位置情報のみに基づいて、見守られる人の状況を判断しているためである。見守られる人の状況は見守り支援サービスに反映する必要がある。例えば、見守られる人が危険な状況にいる場合、危険な状況を知らせるために、より鮮明な映像をできるだけ多くの人に配信する必要がある。一方で見守られる人が正常に寝ている場合は、プライバシーを考慮したビデオ配信を行う必要がある。

この問題を解決するためには、システムが利用者を含むユビキタス情報環境上の様々な状況を認識する必要がある。すなわち、様々な状況を認識し、処理するための知識をシステムに与えるための知識表現手法が必要となる。その手法の一例としてオントロジが挙げられる [34, 35, 61, 62, 63]。

見守り支援に関する既存研究として、“ソーシャル・コンテキスト・アウェアネス”を導入したものがあり、そこでは見守り支援に関する知識をオントロジを用いて表現している [35, 34]。タスク・コンピューティング [61] は、ユビキタス情報環境において利用者の行いたいタスクと、実際に実行可能な機能であるサービスとの間のギャップを埋める技術である。タスク・コンピューティングでは、オントロジを用いて利用者のデバイスや環境に応じて、動的にサービスを発見し、利用者のタスクに応じて構成される。GAS オントロジ [62] はユビキタス情報環境における異種環境上のデバイス同士を連携するための共通言語を提供する。また、GAS オントロジはユビキタス情報環境において要求されたサービスを発見するメカニズムを提供する。Harry らはパーベシブ環境向けのコンテキスト・アウェア・システムのためのオントロジを提供している [63]。このオントロジはスマートミーティングルームを領域とした、場所、エージェント、イベントとそれらの関連について構成されている。この著者らは、知識共有やコンテキスト推論、プライバシー保護

のためのエージェントアーキテクチャを開発している。

しかし、これら既存研究におけるオントロジには時間概念が含まれていなく、様々な制限がある。時間概念はユビキタス情報環境において社会的知識を表現する上で重要となる。

オントロジに時間概念を導入した研究がいくつかある [64, 65, 66, 67, 68]。文献 [64, 65] では、RDF のトリプルに時間ラベルを導入し、そのラベルで指定された時間の間のみ、そのトリプルが有効であると定義している。文献 [66, 67] では、時間に関するオントロジを定義している。このオントロジにより、カレンダーや時計のような時間表記や、時間幅、その前後関係等が記述可能となる。

さらに、Chen らは SOUPA (Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications) [68] を定義している。このオントロジは信念、願望、意図、時間、空間、イベント、利用者プロフィール、行動、セキュリティとプライバシーのためのポリシーについて関連付けられたエージェントを表現するための共通の語彙を提供する。彼らはこのオントロジに基づいたスマートミーティングルームについて議論している。これらオントロジを用いることで、例えば、いつ、ある利用者が行動をとっているかなど、人間の行動と時間の関係について記述することができる。しかし、「人が毎日 18 時に食事をする。」など、利用者の周期的な振舞いを記述することは困難である。人間の生活に密接にかかわっているユビキタス情報環境において、人間の生活習慣を表現する知識表現が必要となる。

3.3 高齢者見守り支援システム: uEyes

本節では既存研究である高齢者見守り支援システム、“uEyes” の概要について説明する。次節で述べる提案手法を uEyes に組み込み、提案の有効性を検証する。

図 3.1 に uEyes における見守りタスクを示す。図に示すとおり、家族や近隣住民など見守られる人を中心としたコミュニティにより、見守り支援を実現する。このような見守りタスクを「コミュニティ型見守り支援」と呼ぶ。uEyes には、システムや利用者、その状況に応じて、動的に個々の情報資源を組合せてサービスを構成する機能を有している。具体的には、以下の 3 つのアウェアネスを導入している。

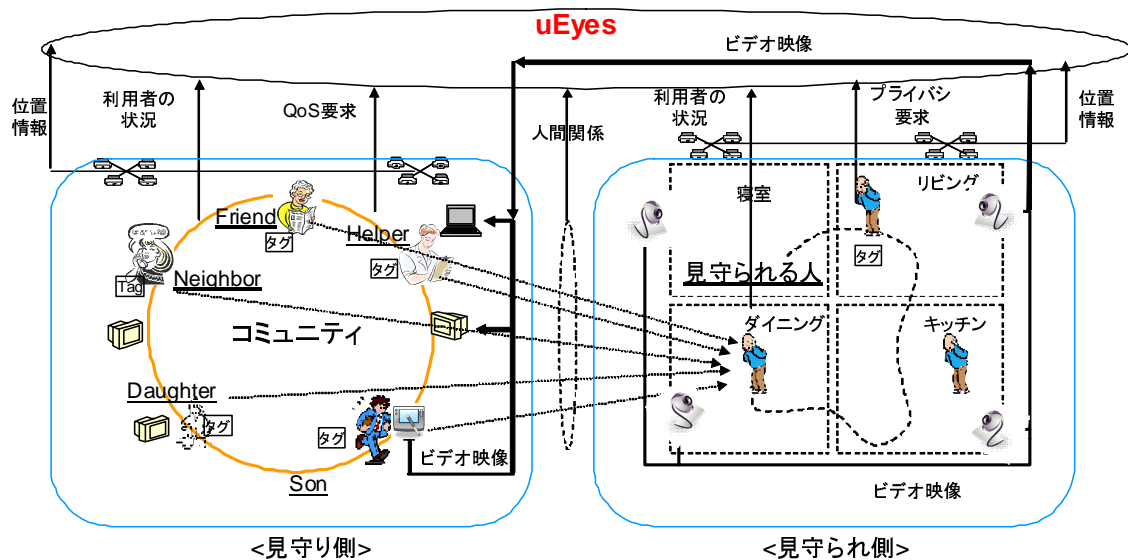


図 3.1: uEyes の概要

- デバイス・コンテキスト・アウェアネス: uEyes は適切な QoS を提供するために、コピキタス情報環境上に存在する様々なデバイスの状態（コンテキスト）情報を扱う。コンテキスト情報には利用者の位置情報に加えて、カメラやディスプレイの性質や利用可能な PC や携帯端末、アクセス可能なネットワークやその帯域。
- ユーザ・コンテキスト・アウェアネス: uEyes は見守りための利用者の要求を可能な限り満たすサービスを提供する。例えば、見守られる人の顔色を見たいときは、より高画質な映像をディスプレイに表示する。
- ソーシャル・コンテキスト・アウェアネス: uEyes は見守る人と見守られる人の間の人間関係を考慮し、状況や人間関係に応じた適切なプライバシーレベルの制御を行う。例えば、正常な状態のときは、見守られる人のプライバシーを保護し、異常状態の場合はプライバシーレベルを低くし、鮮明な映像をより多くの人に配信する。

図 3.2 に uEyes の基本モデルを示す。デバイス・コンテキスト・アウェアネスはビデオ配信や実空間から情報を取得するためのセンサデバイスの集合から構成されている。ユーザ・コンテキスト・アウェアネスは利用者の振舞いや状態、要求などを認識する機能を有

している．ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスは見守られる人と見守る人との間の人間関係の認識のために使われる．また，見守られる人の状況の認識も行う．各アウェアネスはそれぞれ，図 3.2 に示すような基本モジュールを持っている．これらモジュールが協調することで，見守り支援に関するタスクを実現する．

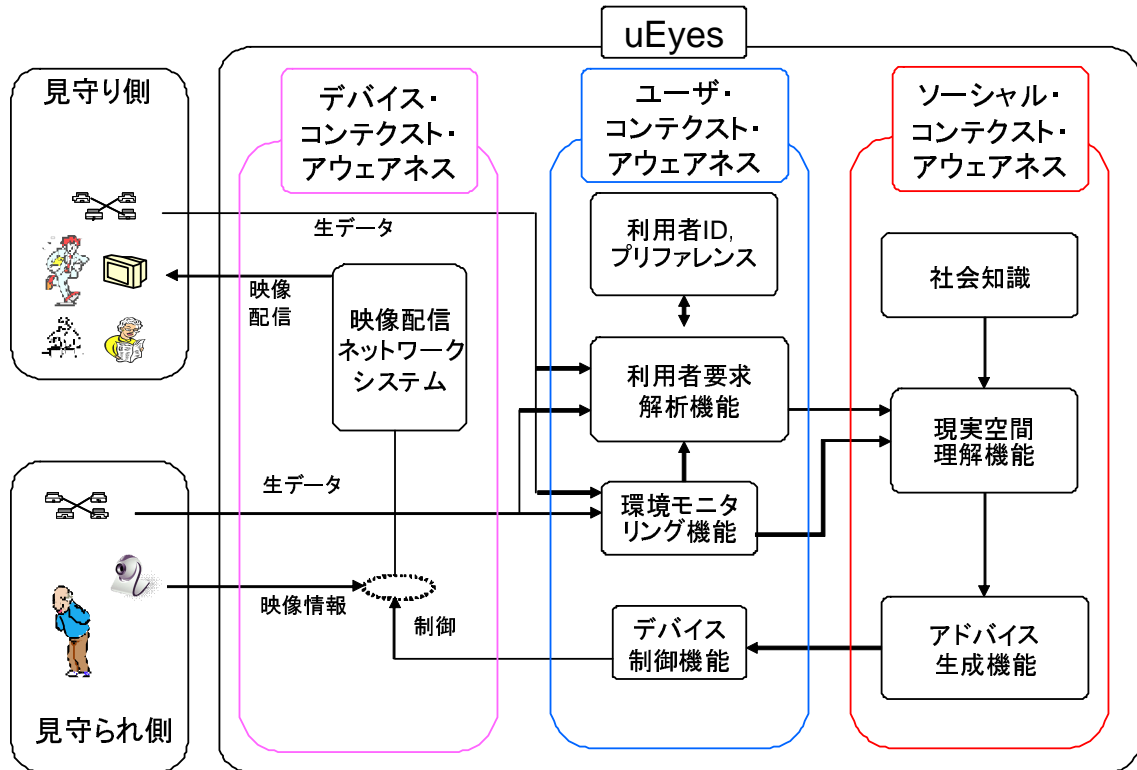


図 3.2: 共生コンピューティングに基づく uEyes の構成

3.4 利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシー保護レベル要求の動的生成手法の提案

本節では，利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシーレベル要求の動的生成手法の提案する．具体的には既存の見守り支援システム uEyes における現実空間理解機能に加えて生活習慣を記述するための時間オントロジを導入する．以下，現実空間理解機能と新たに導入した時間オントロジについて説明する．

3.4.1 現実空間理解機能

安心・安全な見守り支援システムを実現するためには、利用者の作用をなるべく少なくして、利用者の状況と人間関係から利用者の要求を認識するためのメカニズムが必要となる。しかし、実環境の制約から取得できるセンシング情報は限られている。また、利用者のプライバシーの問題から限られた個人情報から利用者の人間関係を認識しなければならない。すなわち、実空間からの限られた情報から利用者の状況と人間関係を正しく認識することが困難であるという問題が存在する。本研究では、この問題を解決するため、ソーシャル・コンテキスト・アウェアを拡張する。具体的には、利用者の状況と人間関係を推論するための「社会的知識」を導入する。そして、推論結果に基づいてプライバシーレベルと映像配信の品質を設定するためのメカニズムを導入する。

本研究において、センシング情報と社会的知識の組合せから利用者の状況と人間関係を導出する「現実空間理解機能」を提案する。センシング情報は実空間から得られる生の情報を指し、利用者の位置情報とその時間的变化などが含まれる。社会的知識は人間関係や行動、生活習慣、家の構造などが含まれる。図 3.3 に現実空間理解機能の構成を示す。現実空間理解機能は「人間関係認識機能」と「状況認識機能」の2つの機能から構成されている。人間関係認識機能は利用者のID、好み、プロフィールなどから見守られる人と見守る人との間の人間関係の強さを導出する。状況認識機能は、利用者の位置情報など実空間からの情報に基づいて、「食事中」、「睡眠中」、「入浴中」など利用者の状況を推論する。

「現実空間理解機能」で得られた推論結果は「アドバイス生成機能」に送られる。アドバイス生成機構では、得られた結果を基に、利用者が望むビデオ映像の品質を生成する。例えば、見守る人が見守られる人の健康状態を気にして、高品質の映像を要求した場合、アドバイス生成機構は高画質のビデオエンコーディングを選択する。見守られる人がプライバシーの保護を要求した場合は、ビデオの品質を下げる。さらに、見守られる人が危険な状況の場合には、適度な品質の映像をできるだけ多くの人に配信する。

社会的知識を記述するためにオントロジを使用する。オントロジにより対象領域の概念とその関係を表現することができる。本機構では、文献 [69] で定義されたコンテキスト・

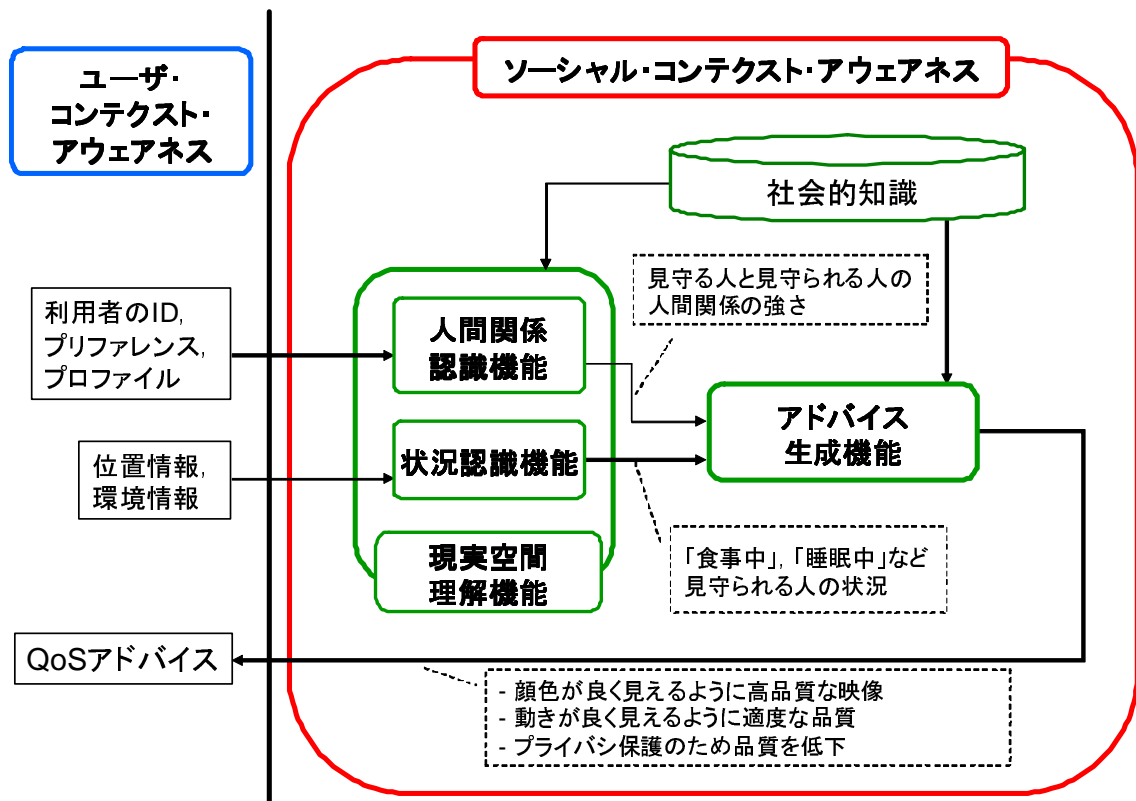


図 3.3: ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスにおける機能とそれらの関係

オントロジを使用する．このコンテキスト・オントロジはユビキタス情報環境の知識を表現したもので、「Person」、「Location」、「Activity」、「Computational Entity」から構成されている．各概念は図 3.4 に示すような関係を持っている．このオントロジを基に，見守り支援領域を対象にして，プロパティ，サブクラス，インスタンス（個体）を定義する．

3.4.2 人間関係認識機能

人間関係認識機能は，家族関係や友達，近隣住民など，見守られる人と見守る人の間の人間関係を導出する．これら人間関係を記述するため人間関係オントロジを導入する．図 3.5 に人間関係オントロジのクラス階層図を示す．ここで，図 3.5 中の「Person」は「hasChild」，「hasParent」，「hasSon」，「hasRelative」，「hasTownRedient」，「hasVicinityResident」などの関係を持っている．

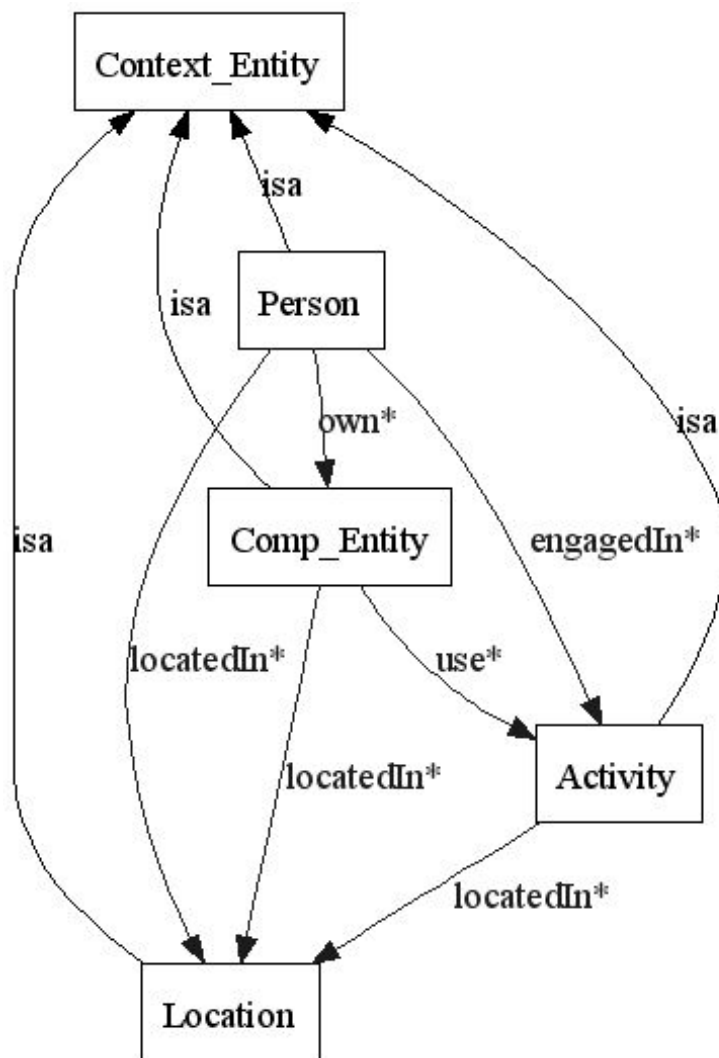


図 3.4: uEyes におけるコンテキストオントロジ

オントロジと推論ルールを利用し，すべての血縁関係を各利用者の性別，配偶者，親子関係のみから導出する [49]. さらに，近隣住民関係を与えられた住所から導出する．例として，以下に息子関係，町内住民関係を導出する推論ルールを示す．

$$\text{Man}(\text{?user2}) \wedge \text{hasChild}(\text{?user1}, \text{?user2})$$

$$\rightarrow \text{hasSon}(\text{?user1}, \text{?user2})$$

$$\text{hasAddress}(\text{?user1}, \text{?address1}) \wedge \text{hasPlaceName}(\text{?address1}, \text{?placeName}) \wedge \text{hasAddress}(\text{?user2}, \text{?address2}) \wedge \text{hasPlaceName}(\text{?address2}, \text{?placeName})$$

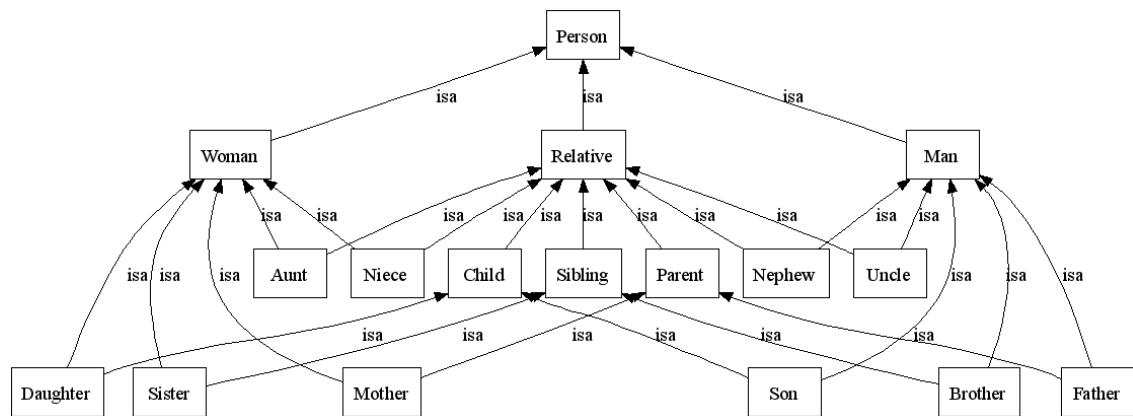


図 3.5: 人間関係オントロジ

→ hasTownResident(?user1, ?user2)

オントロジと推論ルールを組み合わせることで、全ての人間関係を補完する。現状では、友人関係は静的に与えているが、コミュニティの活動状況などに応じて動的に与えることも検討している。

3.4.3 状況認識機能

状況認識機能は位置情報など実空間から得られる情報と社会的知識を組み合わせ、見守られる人の状況を推論する。図 3.6 に状況認識機能で用いるオントロジの一部を示す。3.4.1 節で示したコンテキスト・オントロジを基に、見守り支援を対象領域として、必要な情報を追加した。このオントロジはデバイスや位置、部屋、行動などの関係を示している。このオントロジと推論ルールを適用することで、システムは実空間から得られたセンシング情報から見守られる人の状況を認識する。例として、以下に利用者がある部屋を導出する推論ルールを示す。このルールは、「もしある利用者があるタグを持っていて、そのタグがある部屋に置かれていた場合、その利用者はその部屋にいる。」ということを表している。

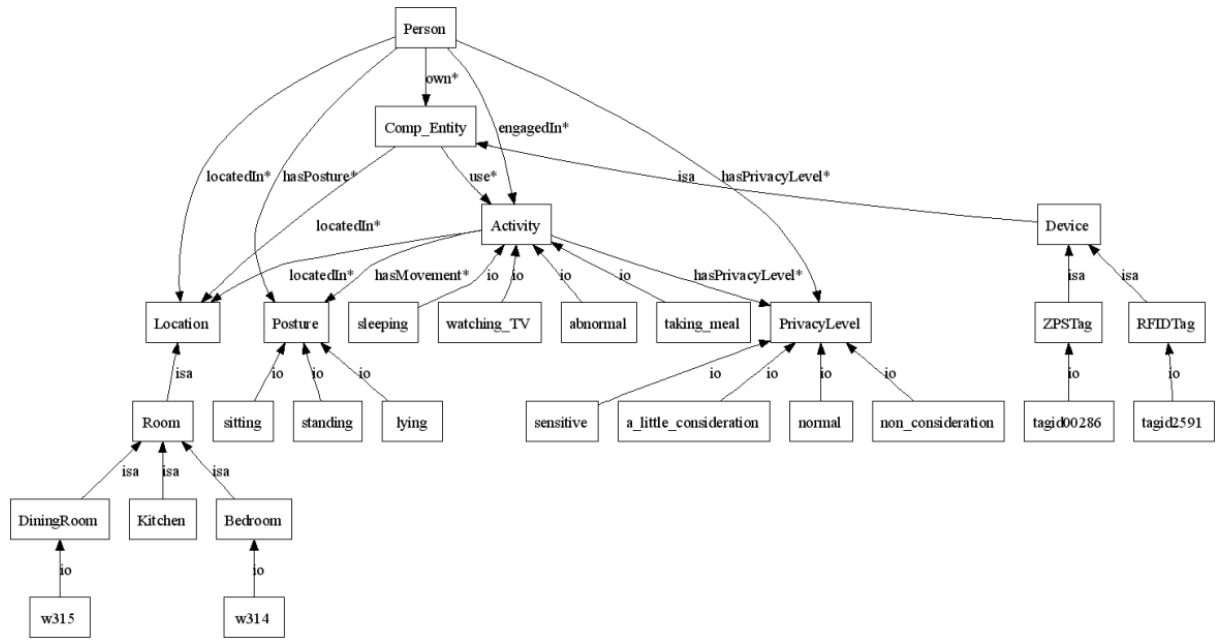


図 3.6: 状況認識機能に用いるオントロジ

$\text{owns}(\text{?user}, \text{?tag}) \wedge \text{putOn}(\text{?tag}, \text{?room})$
 $\rightarrow \text{locatedIn}(\text{?user}, \text{?room})$

3.4.4 時間オントロジ

利用者の周期的な振舞いを記述するために時間概念を導入する．このオントロジにより利用者の生活習慣を記述することが可能となる．図 3.7 に本研究で導入した時間オントロジを示す．図 3.6 に示したオントロジを用いることで，利用者の行動をトリプルとして表現することができ，そのトリプルに「temporal」プロパティを用いて，時間情報を加える．「Temporal」クラスは，実際にその行動を行っている時間を表す「hasRealTime」プロパティと，普段その行動を行っている時間帯，つまり生活習慣を表す「hasCycle」プロパティを持っている．「Instant」はある時間の点を示し（例えば，2008 年 12 月 1 日 12 時 15 分 5 秒），「Interval」は時間の幅（ある日から別の日までの間など）を示す．「TimeEntity」は時間を表すクラスで，「2008 年 5 月 25 日」や「10 時 20 分」などを表す．Instant，Interval，

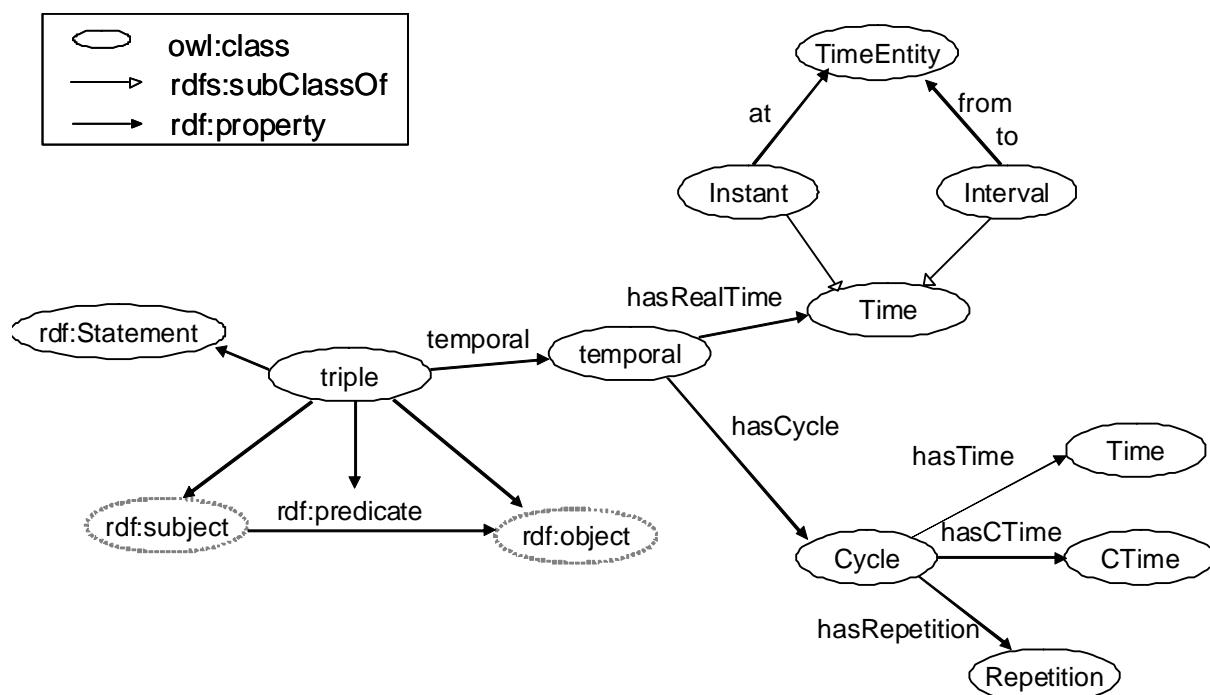


図 3.7: 時間オントロジ

TimeEntity は [65, 64, 66, 67, 68] でも同様に定義されており，それら定義を参考にした．さらに，時間の繰り返しを表現するために「Cycle」クラスを新たに導入する．これは利用者の周期的な振舞いを表現するものである．Cycle は「Time」「CTime」「Pepetition」の3つのクラスと関係を持っている．Time は利用者がその行動を行う時間帯を示し，Repetition はどの程度，利用者がその行動を行うのかを整数で示す．CTime は Repetition の時間単位を示している．

図 3.8 に周期的振舞い，つまり利用者の生活習慣の記述例を示す．この例では「利用者 A は 2008 年 7 月 5 日の 23 時の時点で寝ており，普段は毎日 22 時から 5 時までの間に寝ている」ということを示している．

3.4.5 時間オントロジに基づいた現実空間理解機能の動作例

本節では時間オントロジに基づいた現実空間理解機能の動作例について説明する．図 3.9 はその例を示している．図中，左上のルール A が発火することを仮定する．ルール A

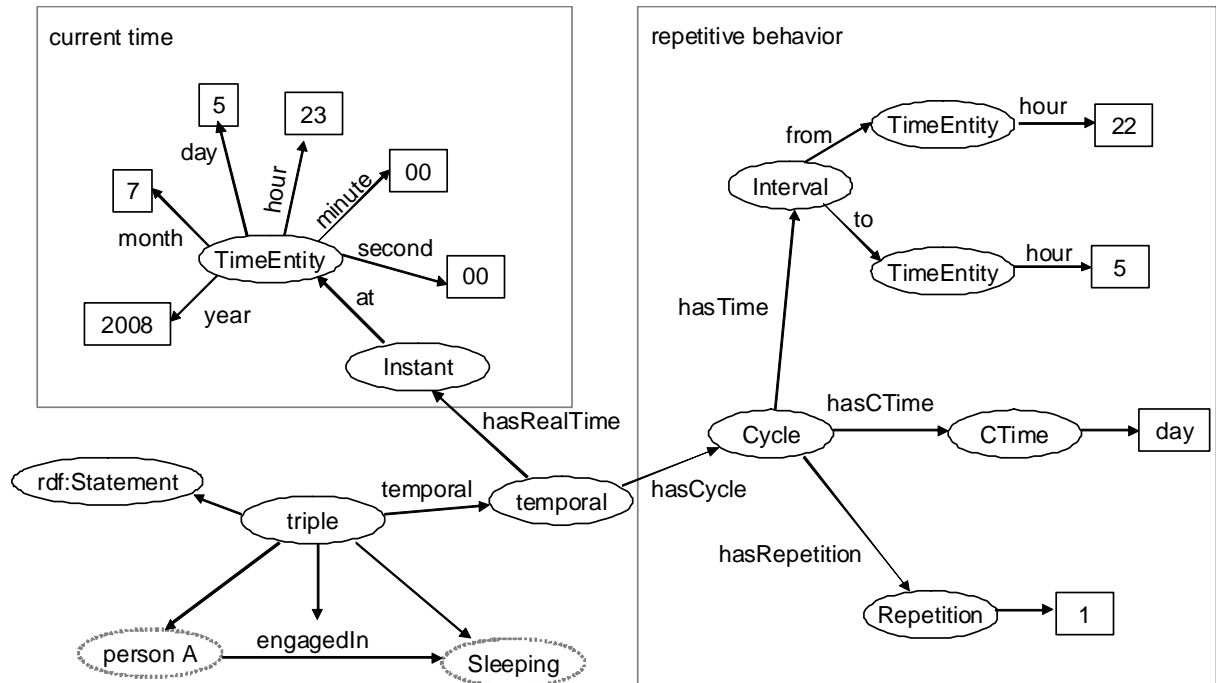


図 3.8: 時間オントロジを用いた利用者の生活習慣の記述例

は4つの前提条件があり、その全ての条件が満たされたときに、ルールが実行される。そして、「利用者 A は寝ている」という状況が推論により導出される。同様にして、図中、ルール B から、「利用者 A は床から 100mm の高さに位置して、同じ位置に 180 秒間留まっている」という状況が推論される。

場合によって、この2つの推論結果の間にコンフリクトが発生する。このコンフリクトは利用者の状況が正常であるか、そうでないのかを判断する上で重要な役割を持っている。すなわち、このコンフリクトにより、システムは正常とはみなされない状況を自立的に認識する。あらゆる現実世界で起こりうるあらゆる異常状況を全て記述することは現実的ではないため、本研究ではシステムに正常な状態のみを知識として与え、それから逸脱した場合は、異常とみなすメカニズムを導入している。

図 3.9 の場合、図中の左中に示された、推論により導出された状況と、図中の右上に示された状況との間にタグの位置情報に関するコンフリクトが発生していない。

しかし、利用者の生活習慣を記述するためのオントロジを導入したことにより、「利用

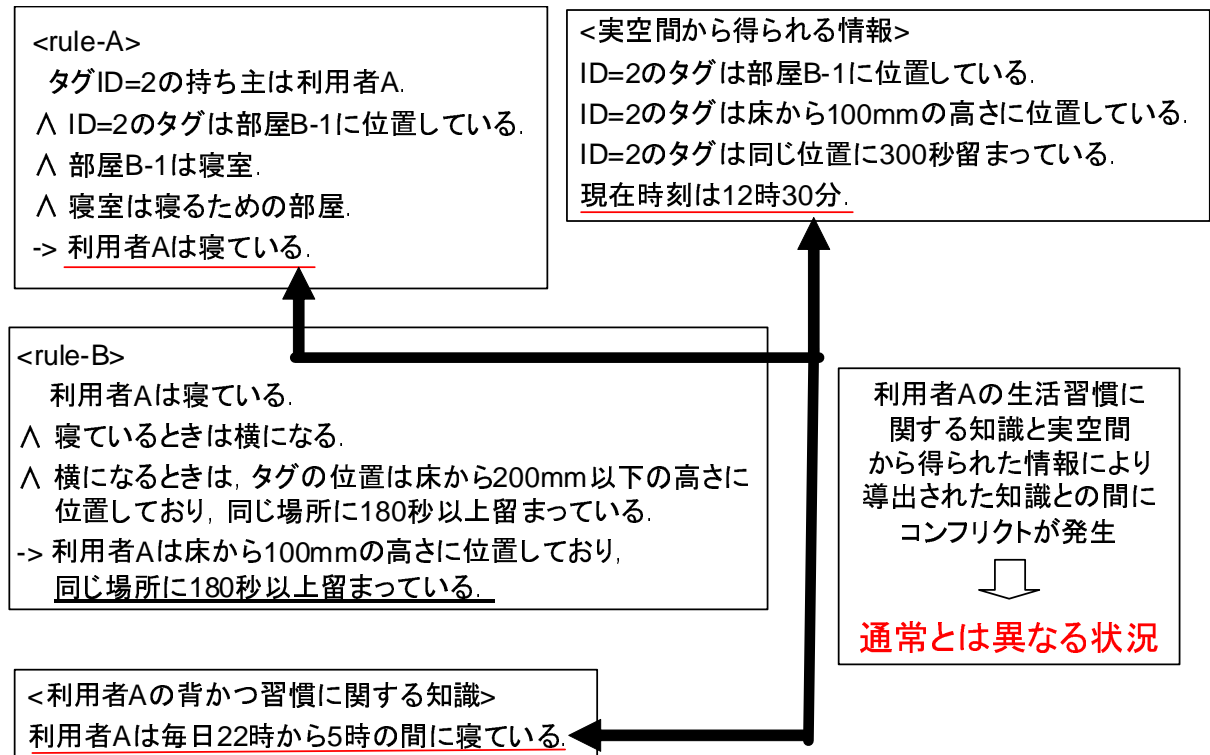


図 3.9: 時間オントロジに基づいた現実空間理解機能の動作例

者 A は毎日 22 時から 5 時の間に寝ている。」という、利用者 A の生活習慣が知識として加えられている。したがってこの場合、現実空間から得られた情報（利用者がその行動を行っている時間）と社会的知識（利用者が普段その行動を行っている時間）との間にコンフリクトが発生する。最終的に、現実空間理解機能は、利用者 A は普段とは異なる行動をとっていることを認識する。

3.5 実装

3.5.1 実装環境

在宅高齢者見守り支援システム uEyes の実装について述べる。見守られる人の映像を配信するために市販の USB カメラを使用する。見守る人が映像を閲覧するために、PC を使用する。ライブストリーミングの実現には、Java Media Framework (JMF) [70] を利用す

る．部屋の位置情報を取得するために，超音波センサ ZPS[71] と，RFID システム [72] を使用する．

また，実装にはエージェントプログラミング言語として DASH[73] を，開発環境には IDEA[74] を利用する．オントロジの記述には Web Ontology Language (OWL) [43] を，推論ルールの記述には Semantic Web Rule Language (SWRL) [46] を使用し，それらを Jess (Java Expert System Shell) のフォーマット [47, 48] に変換する．

3.5.2 知識記述例

オントロジの記述について示す「Person クラスのサブクラスは Man である。」という知識記述を Jess で表現すると，“(deftemplate Man extends Person)”となる．また，「Room クラスのインスタンス（個体）として room-A がある」という記述は，“(assert (LivingRoom (name room-A)))”となる．

さらに，推論ルールの SWRL 形式の記述例を示す．以下のルールは「もしある利用者があるタグを持っていて，そのタグは床から 100mm の高さにあり，そのタグがそこに 60 秒間留まっていた場合，その利用者は床に横になっている。」ということを示している．

```
owns(?user, ?tag) ∧ hasHeight(?tag, ?height)
∧ swrlb:lessThan(?height, 100) ∧ stayFor(?tag, ?duration)
∧ swrlb:greaterThan(?duration, 60) → hasMovement(?user, Lying)
```

上記の SWRL 形式の推論ルールを Jess 形式に変換すると以下ようになる．

```
(defrule Def-userMovement (owns ?user ?tag)
(hasHeight ?tag ?height) (test (< ?height 100))
(stayFor ?tag ?duration) (test (> ?duration 60)) =>
(assert (hasMovement ?user Lying)) ).
```

3.6 実験・評価

3.6.1 実験環境

提案手法の実用性，有効性を評価するための実験として，いくつかのシナリオを用意した．本実験では，高齢者である利用者 A がなんらかの社会的関係を持った 4 人（息子，親戚，近隣住民，町内住民）から見守られていることを想定する．図 3.10 に実験環境を示す．図 3.10(A) は見守る側を表している．見守り側では，見守る人の位置情報を取得するために，RFID システムを用いる．同図 (B) に示す見守られ側では，ダイニングと寝室の 2 つの部屋を用意する．また，位置情報を取得するため，ZPS 超音波センサを利用する．

本実験では，見守られる人「利用者 A」が寝室（B-1），またはダイニング（B-2）のどちらかにいることを想定する．この状況において，uEyes は最も適切なカメラと PC ディスプレイを適切なネットワークで接続する．そして，適切な品質のライブストリーミング映像が見守られ側から見守り側へ配信される．

本研究では 3 種類の実験を行った．まず，現実空間理解機能の有効性を示すための実験（実験 1）を行う．次に，uEyes におけるソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの有効性を評価する（実験 2）．最後にソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの性能を評価する（実験 3）．

3.6.2 実験 1: 現実空間理解機能の評価実験

実験 1 では「現実空間理解機能」の有効性を評価する．具体的には，実空間から得られる情報を仮想的に与え，その時に得られる推論結果から，現実空間理解機能の有効性と振舞いを検証する．本実験では見守られる人の実際の状況を想定した 4 種類のテストデータを与えた．与える情報はタグ ID，タグの位置を表す部屋 ID，床からのタグの高さ，タグの滞留時間，現在時刻の 5 種類である．

はじめに，見守られる人である利用者 A が夜に寝室で寝ていることを想定し，次に示す情報を入力として与えた（実験 1(1)）．

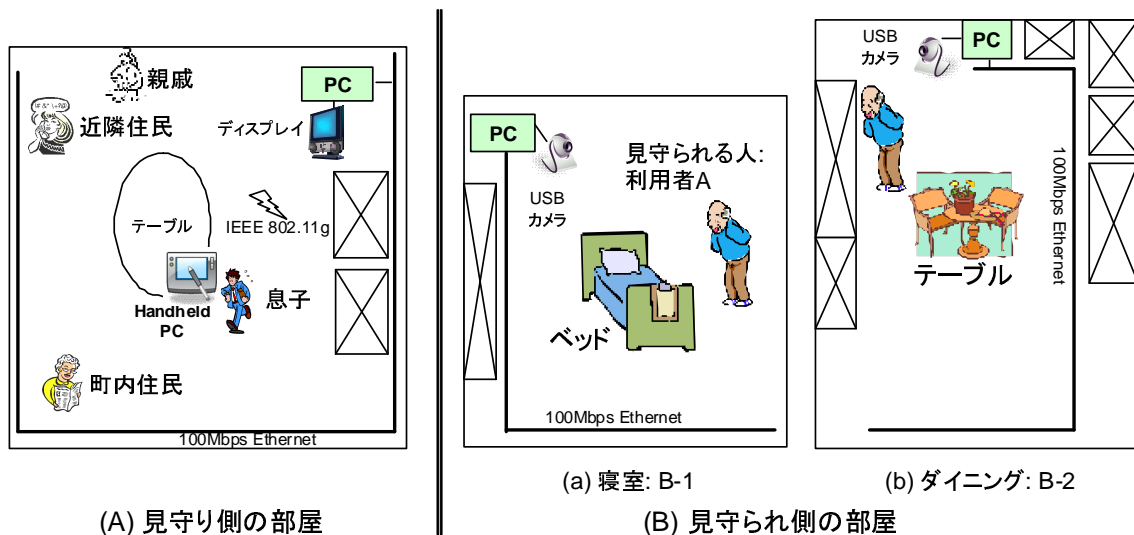


図 3.10: 実験環境

- タグ ID: Tag1
- タグが位置する部屋 ID: B-1
- タグの高さ: 100 mm
- タグの滞留時間: 300 秒
- 現在時刻: 23 時

このときに得られる結果を図 3.11 に示す．現実空間理解機能がない場合は，与えられた情報がそのまま出力として得られる．従って，「ID が Tag1 のタグが部屋 B-1 に 23 時に置いてあり，その高さは 100mm で 300 秒滞留している」という結果が得られた．その一方で，現実空間理解機能を用いる場合，「利用者 A は寝室で正常に寝ている」という出力結果が得られた．この状況の認識には以下に示す知識が主に使われた．

- 利用者 A はタグ ID が Tag1 のタグを持っている．
- もしタグが床から 200mm 以下の高さにあり，60 秒以上同じ位置に留まっている場合，そのタグの持ち主は横になっている．

- 部屋 B-1 は寝室 .
- 寝室は寝るための部屋 .
- 利用者 A は毎日 22 時から 5 時の間に寝ている .
- 寝るときは横になる .

この結果は実空間から得られた環境情報から意味のある情報を生成するために、人間の行動や家の構造など社会的知識が有効に使われたことを示している。この場合、実空間から得られたセンシング情報からの推論による姿勢と、社会的知識から得られた推論による姿勢との間にコンフリクトが発生しておらず、どちらも利用者 A は横になっていることを導出している。さらに、現在時刻と利用者の生活習慣との間にもコンフリクトが発生していない。以上の結果より、システムは利用者 A は正常な状態であると認識した。

次に、利用者 A がダイニングで倒れて危険な状況であることを想定する。以下に示す情報を入力に与えた（実験 1(2)）。

- タグ ID: Tag1
- タグが位置する部屋 ID: B-2
- タグの高さ: 100 mm
- タグの滞留時間: 300 秒
- 現在時刻: 12 時 30 分

結果を図 3.12 に示す。

「利用者 A がダイニングに倒れていて、危険な状況である。」ということを推論し、結果として出力した。この場合、実験 1(1)に加えて、以下の社会的知識が使われた。

- 部屋 B-2 はダイニング。
- ダイニングは食事をとるか、何らかの活動をする部屋。

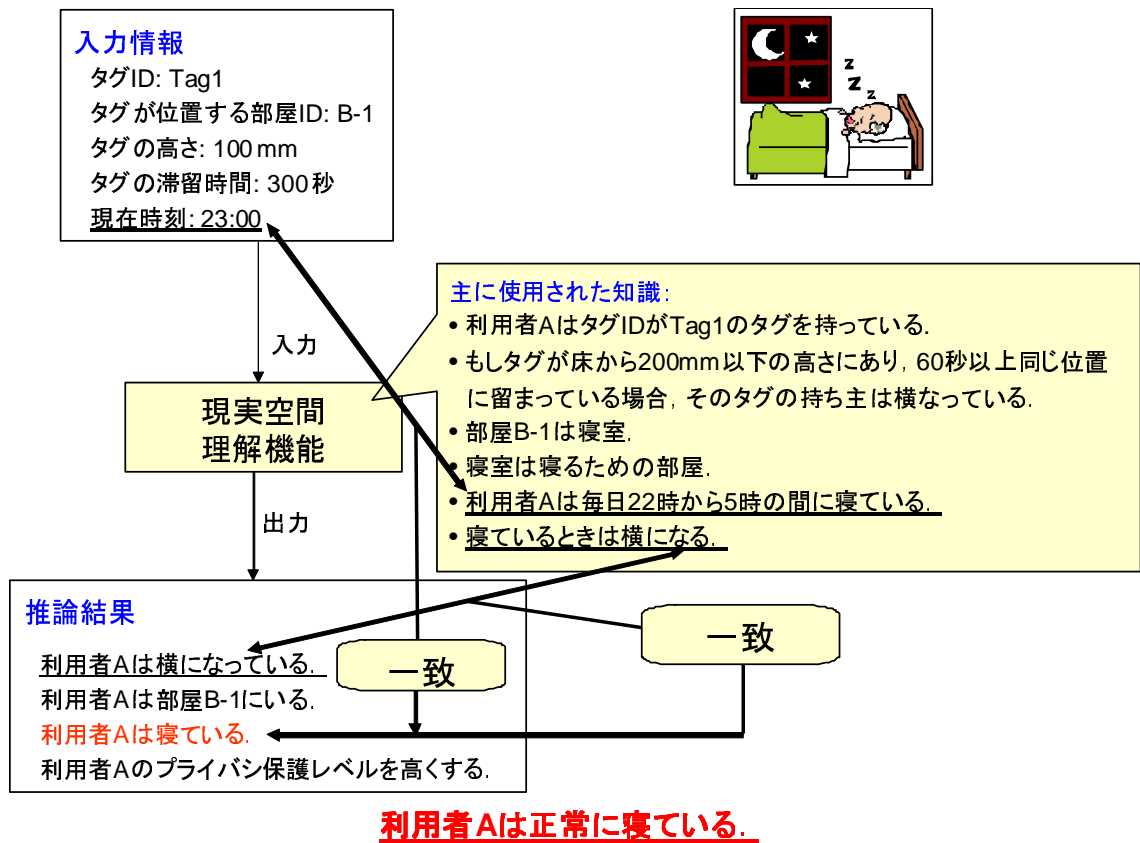


図 3.11: 実験結果 1(1): 正常状態（見守られる人が正常に寝ている）場合

- 利用者 A は毎日 12 時から 13 時の間に食事をする .
- 何らかの活動をしているときは , 立っている .
- 食事をとるときは , 座っている .

実験 1(1) とは部屋が異なっているため , 想定される利用者の行動も異なっている . 上記に示した社会的知識により , 現実空間理解機能は「利用者 A は座っている .」ことを導出するが , 実空間から得られたタグの位置情報からは「利用者 A は横になっている .」ことが導出された . これがコンフリクトの例である . このコンフリクトにより , 現実空間理解機能は「利用者 A は危険な状況である .」と認識した .

次に , 利用者 A がダイニングで食事をとっていることを想定する (実験 1(3)) . 与えた情報を以下に示す .

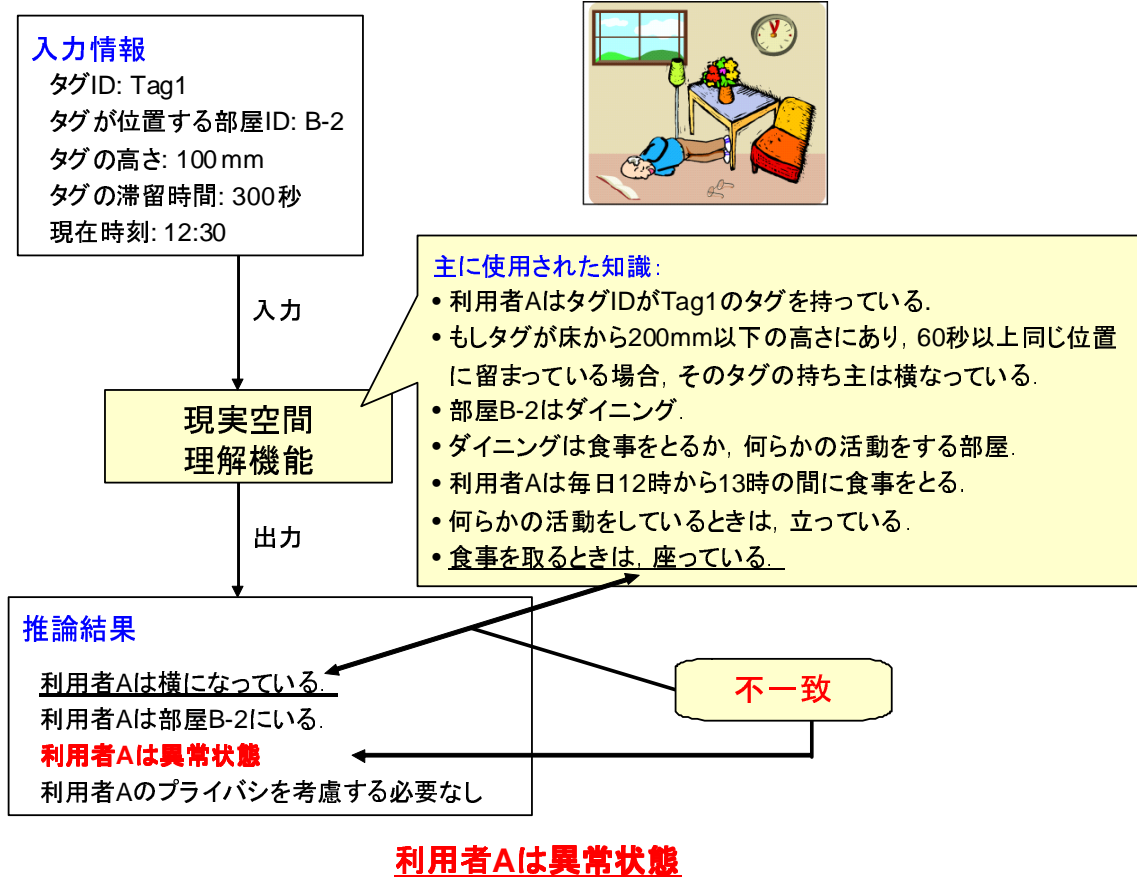


図 3.12: 実験結果 1(2): 見守られる人が異常状態の場合

- タグ ID: Tag1
- タグが位置する部屋 ID: B-2
- タグの高さ: 1100 mm
- タグの滞留時間: 300 秒
- 現在時刻: 12 時 30 分

現実空間理解機能により、「利用者 A はダイニングで食事をとっている。」という結果が得られた。この結果を得るために使われた知識は上記で示した実験と同様である。さらに、姿勢に関するコンフリクトと生活習慣と時間に関するコンフリクトも発生しなかった。従って、結果として、「この行動は正常である。」ことが推論された。

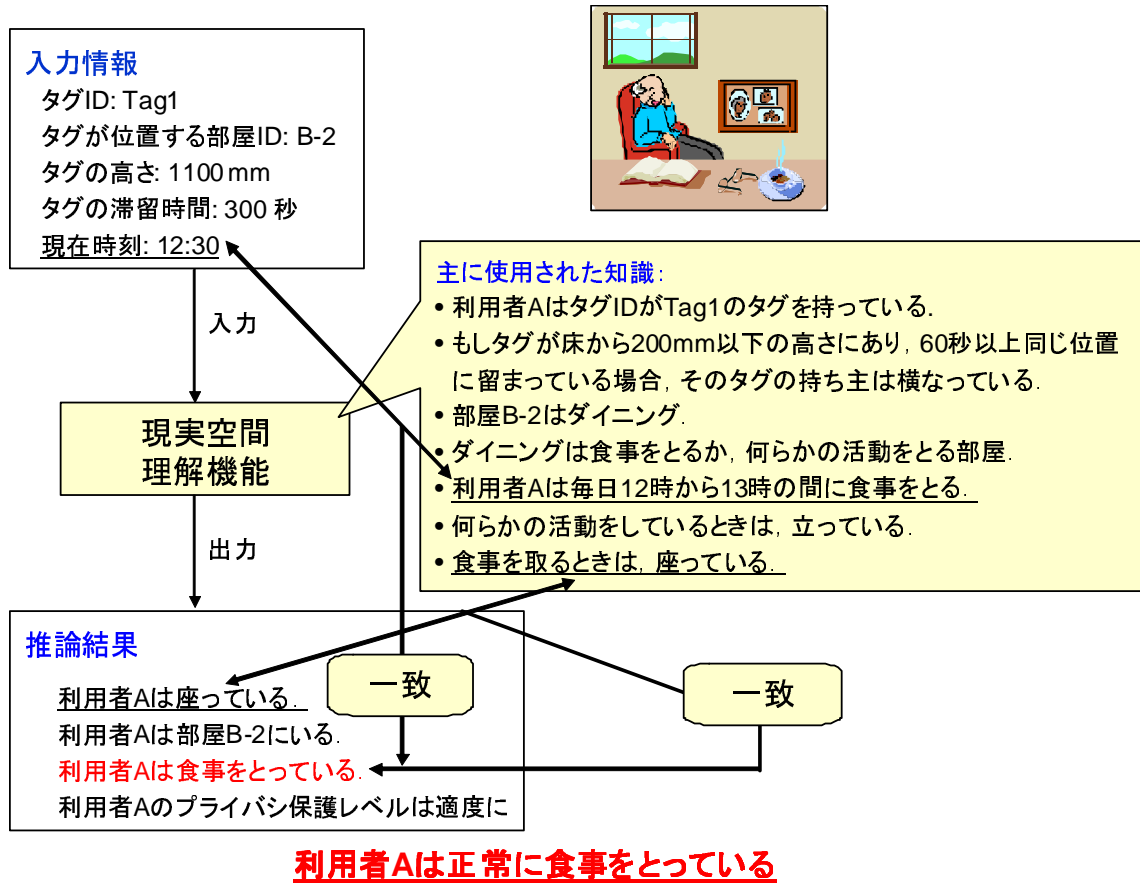


図 3.13: 実験結果 1(3): 正常状態（見守られる人が食事をとっている）場合

最後に，利用者 A がダイニングで普段とは違う行動をしていることを想定する（実験 1(4)）．与えた情報を以下に示す．

- タグ ID: Tag1
- タグが位置する部屋 ID: B-2
- タグの高さ: 1300 mm
- タグの滞留時間: 5 秒
- 現在時刻: 23 時

実験結果を図 3.14 に示す．現実空間理解機能により，「高齢者である利用者 A は何らかの行動をとっているが，普段との行動とは違っている．」ことが結果として得られた．この

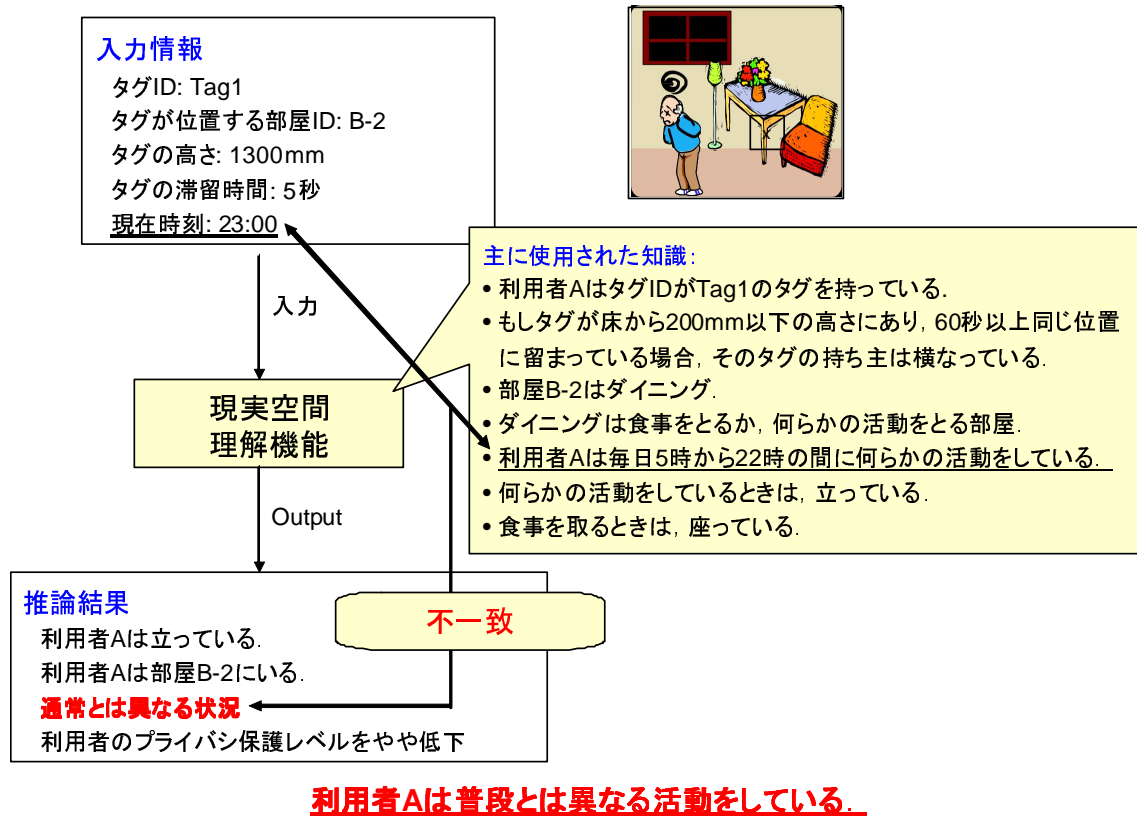


図 3.14: 実験結果 1(4): 見守られる人が普段の生活習慣とは異なる行動をしている場合

実験において、姿勢に関するコンフリクトは発生しなかったが、実際にその行動を行っている時間と、普段その行動を行っている時間との間にコンフリクトが発生した。従って、「この行動は通常とは違う」ことが推論された。

3.6.3 実験 2: uEyes におけるソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの評価実験

uEyes におけるソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの効果を検証するための実験を行った。本実験では利用者 A がコミュニティにより見守られていることを想定している。このとき、見守られる人である利用者 A の状況（位置する場所や動き）を変化させ、見守る側の人を変えたときに uEye が提供する映像の変化を見ることが、ソーシャル・コ

ンテキスト・アウェアネスの振舞いを検証する。

以下の実験結果において、利用者 A の息子が見る映像を (a)、親戚が見る映像を (b)、近隣住民が見る映像を (c)、町内住民が見る映像を (d) とする。

利用者 A がダイニングにいる場合に配信される映像の一覧を図 3.15 に示す。図 3.15(A) は 12 時 30 分に利用者 A がダイニングにいる場合、同図 (B) は 23 時に利用者 A がダイニングにいる場合を示している。図 3.15(A) では、利用者 A の状態は正常と認識したため、見守られる人のプライバシーを保護している。この場合、息子には高品質の映像を配信し、親戚には動きだけが認識できる程度の低品質の映像を配信した。また、近隣住民と町内住民には映像ではなくメッセージを配信した。一方で、図 3.15(B) では、利用者 A が 23 時にダイニングで何らかの行動をしている場合を示している。この場合、システムは利用者 A の位置と現在時間、そして社会的知識から、通常とは異なる状態と認識し、プライバシーレベルを落としている。そのため、息子には高品質の映像を配信し、親戚と近隣住民には低品質の映像を配信した。また、町内住民にはメッセージにより通常とは異なる状態であることを通知した。

既存研究では、見守られる人がダイニングで倒れていなかった場合、すなわち、見守られる人がダイニングで立っているか、座っている場合は、システムは見守られる人は何らかの行動をしていて、正常であると認識していた。しかし、本研究では、ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスに時間概念を導入した事で、図 3.15 に示したように、システムが利用者の生活習慣を考慮して通常とは異なる状況を検出することが可能となった。

図 3.16 に利用者 A がダイニングで倒れていて異常な状態である場合の実験結果を示す。この場合、システムは利用者の実空間から得られた位置情報と社会的知識に基づき利用者が倒れていて危険な状況であることを認識した。その結果、プライバシーレベルを下げ、より多くの人に状況を伝えるようにした。具体的には、高品質な映像を息子と親戚に配信し、近隣住民には低品質の映像を配信した。また、町内住民にはテキストで状況を通知した。

この場合、図 3.16(A) と図 3.16(B) は共に同じ結果が得られた。これは、「異常な状況を除いて、人は決してダイニングで横になっていることはない。」という社会的知識による

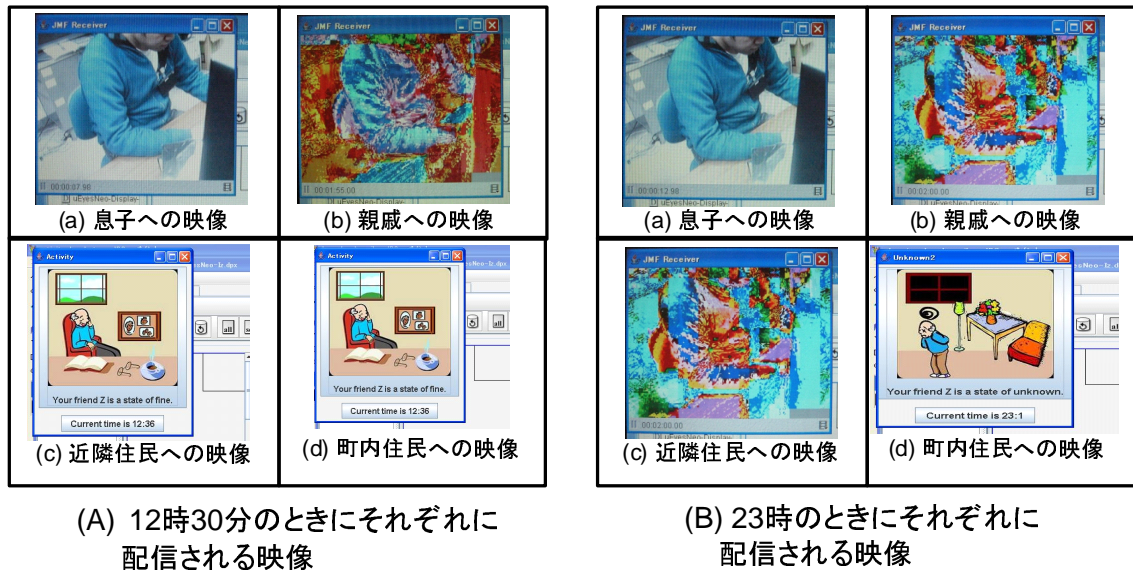


図 3.15: 実験結果 2(1): 見守られる人がダイニングで行動している場合のソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの効果

ものである。

図 3.17 に利用者 A が寝室で寝ている場合にそれぞれに配信される映像を示す。図 3.17(A) は利用者 A は寝室で寝ているが、普段とは異なる状況を示している。これはシステムが、利用者 A が現在寝ている時間と、利用者 A の習慣との間にコンフリクトを検出したためである。この場合、システムは正常ではない状態（例えば、風邪で寝込んでいる状態など）と認識し、プライバシーレベルを下げている。具体的には、息子には高品質の映像を配信し、親戚と近隣住民には、低品質の映像を配信した。また、町内住民には通常とは異なる状況であることをメッセージとして通知した。図 3.17(B) には、利用者 A が夜に寝室で寝ていて正常な場合の結果を示す。この場合、システムは見守られる人は正常とみなし、プライバシー保護のため、息子と親戚には低品質な映像を配信し、他のメンバーには正常に寝ていることをテキストと絵で通知した。

既存研究では、見守られる人が寝室で寝ている場合、システムは常に正常とみなし、通常とは異なる状況の検出ができなかったが、本提案によりソーシャル・コンテキスト・アウェアネスを拡張した結果、システムは利用者の生活習慣を把握することが可能となり、

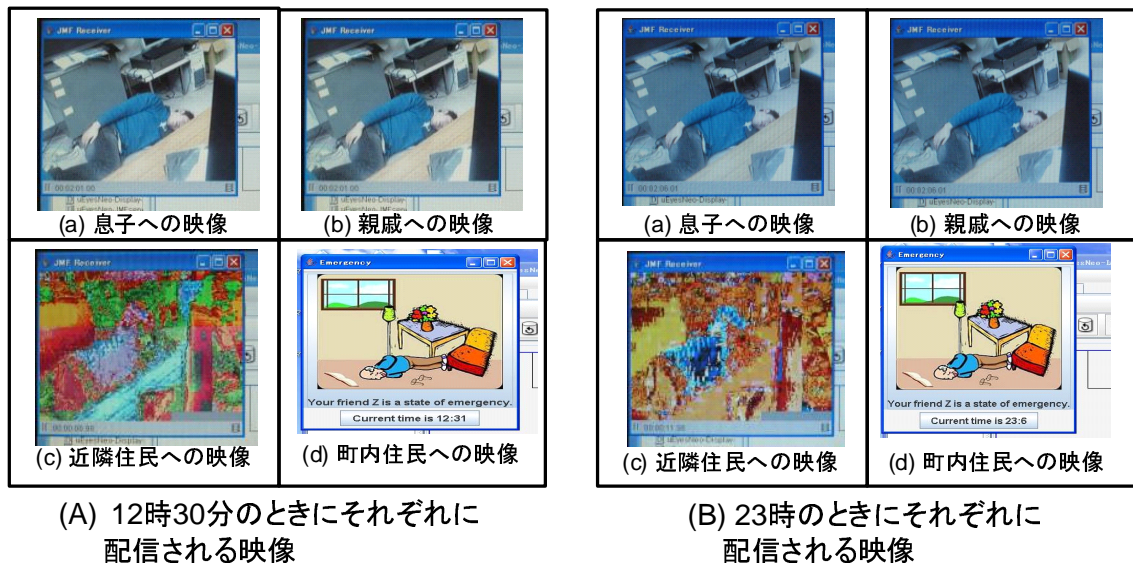


図 3.16: 実験結果 2(2): 見守られる人が異常な状態の場合のソーシャル・コンテキスト・ウェアネスの効果

クラス数	プロパティ数	インスタンス（個体）数	ルール数	推論時間
45	40	141	35	0.65 s

表 3.1: 性能評価実験に使用したオントロジの規模とパラメータと推論時間

それに基づいたサービス品質の設定が可能となった。

実験結果から，時間概念の導入により，ソーシャル・コンテキスト・ウェアネスの機能が向上したことを確認した。

3.6.4 実験 3: ソーシャル・コンテキスト・ウェアネスの性能評価実験

次に，ソーシャル・コンテキスト・ウェアネスの性能評価を行った。図 3.18 に性能評価に用いる実験環境を示す。具体的には，実験 2 において実環境からの情報が入力されてから，推論により見守られる人の状況とプライバシーレベルが導出されるまでの Jess の推論時間を測定した。表 3.1 に実験で使ったパラメータと実験結果を示す。本実験では，オ

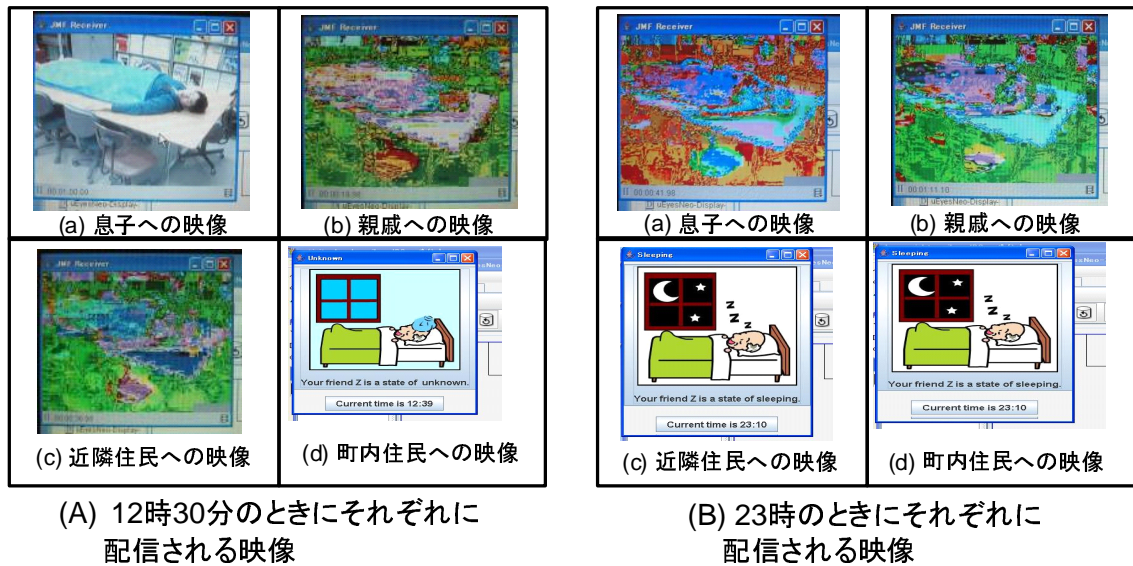


図 3.17: 実験結果 2(3): 見守られる人がベッドで寝ている場合のソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの効果

ントロジのサイズはクラス数が 45 , プロパティ 数が 40 , インスタンス (個体) 数が 141 であり , また 35 の推論ルールを用意した . 平均推論時間は 0.65 秒であり , このことから , 本研究におけるソーシャル・コンテキスト・アウェアネスは実時間内に耐えられるだけの性能を有していることがわかった .

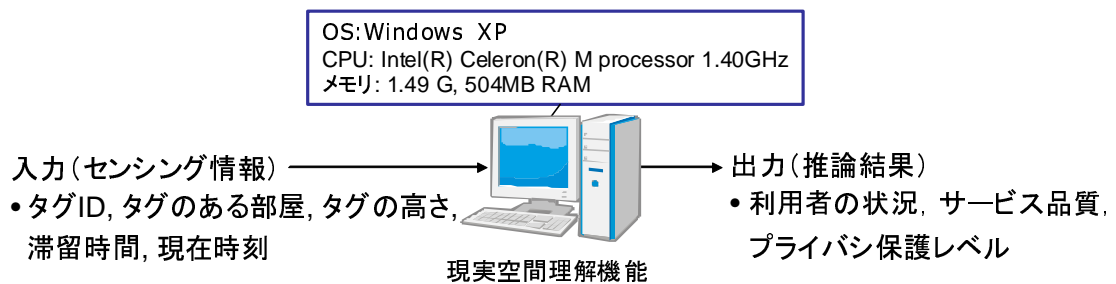


図 3.18: 性能評価における実験環境

3.6.5 評価・考察

現実空間理解機能に関する評価

前節で示した実験を通じて、現実空間理解機能の効果を検証した。実験結果より、社会的知識の導入により、現実空間理解機能は実空間から取得した生の情報から意味のある情報の生成が可能となったことを確認した。従って、本システムは実空間から得られる情報のみを解析するシステムに比べて、より多くの状況に対応できると考えられる。

また、一般的な知識に基づく推論により、見守り支援だけではなく、他の領域のアプリケーション開発時にも有効であると考えられる。

オントロジ導入による評価

オントロジは、社会的知識の中で現実社会の背景となる暗黙的・概念的な知識を明示的に与える役割を果たしている。オントロジを用いて記述することで、概念間関係を辿り、明示的に記述されていない事態への対処が可能になった。これは状況とその対処を断定的に記述する方法と比較して、対応可能な状況の幅が広いという利点がある。また、厳密に状況を想定しながら知識記述をする必要がないため、知識記述量の低減にもつながった。さらに、オントロジは標準化された記述方法であるため、知識の再利用の促進という効果も考えられる。

ユビキタスアプリケーションにおける推論メカニズムについての考察

本システムでは、DASH と Jess によるハイブリットな推論メカニズムを通じて、環境情報と社会的知識を効果的に処理している。DASH と Jess の推論メカニズムはそれぞれ異なる役割を持っている。環境情報はリアルタイムで処理・解析をする必要があるため、高速・軽量の推論エンジンを持つ DASH が扱う。社会的知識は表現能力の高い Jess で処理を行う。この2つの推論メカニズムを組み合わせることで、実空間からのセンシング情報と社会的知識を効果的に扱っている。この推論メカニズムは、より高度なユビキタスア

アプリケーションの実現に大きく寄与する。

時間概念の導入による評価

ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスに時間概念を導入したことによる効果を検討する。ユビキタスアプリケーションは人間の日々の生活に密接に浸透し、効果的なサービス提供を行うことが望まれていることから、ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスにおける時間概念は重要となる。実験結果より、uEyes は時間概念に基づき、利用者の生活習慣に基づいた適切なサービス品質の制御が可能となったことを確認した。これは、時間概念の導入により、システムが利用者の生活習慣を把握することが可能となったためである。これにより、ソーシャル・コンテキスト・アウェアネスの機能が拡張した。

3.7 おわりに

本論文では、少ないセンシング情報・プロフィール情報から、利用者の状況や人間関係を導出し、利用者が望むサービス品質やプライバシーを自律的に判断することが困難、すなわち利用者のプライバシーレベルの制御に関する課題を解決するために、利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシーレベル要求の動的生成手法を提案した。具体的には、人間の生活習慣を記述するためのオントロジを定義し、既存の高齢者見守り支援システム uEyes に組み込み、提案手法の有効性を示した。提案手法により、人間の生活習慣を把握することが可能となり、それに基づいた適切なプライバシーレベルの動的生成が可能となった。

第4章 マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式

4.1 はじめに

肥満，高血圧，糖尿病，メタボリックシンドローム等の生活習慣病患者の増加に伴い，健康維持や生活習慣病予防などが社会的に大きな関心事となりつつあり，IT を活用した様々な健康支援システムの研究開発が進んでいる [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] ．

また，無線ネットワークや携帯型端末などのネットワーク，計算機技術の進展により，ユビキタス情報環境と呼ばれる「いつでも，どこでも，誰でも，コンピュータやネットワークを利用できる情報環境」が整備されつつある．これらの技術的背景により，ユビキタス情報環境を効果的に利用した健康維持・促進のための健康支援システムが登場しつつある [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24] ．

本研究では，実環境の多様な情報を効果的に取得・活用し，プライバシを考慮した高度な健康支援サービスの提供を目指す．それを，従来のユビキタス情報環境における健康支援システムを，ユビキタス性，インテリジェンスの観点でさらに高度化し，人間の日常生活により密着した利用者にやさしい見守り型健康支援システムとして実現する．

本章では，やさしい見守り型健康支援システムの実現のため，支援システムによる実空間からの情報取得に関する課題に取り組む．既存の健康支援システムでは，生体情報のみを取得し，それに基づいて利用者自身やシステムが利用者の状態を推定している．そこで，生体情報に加えて，利用者の物理的位置情報，周囲の様子を示す環境情報（室温，部屋の明るさ，電気機器の使用状況など），利用者の映像情報等を利用することにより，より正確に利用者の状態を把握することが可能となる．しかしながら，ユビキタス情報環境

等は計算機資源，ネットワーク資源に制約があることから，これらの実環境の情報を全て獲得することは困難である．従って，実環境からの効果的な情報獲得手法を検討する必要がある．

上記の課題を解決するため，本章ではマルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式を提案する．本提案により，システムの稼働状況，利用者の健康状態に応じて，効率的に実空間からのデータ取得が可能になる．例えば，利用者が正常に運動をしている場合は，生体情報を適度な頻度でモニタリングし，品質を落とした映像をコミュニティに配信する．また，利用者の健康状態に普段と違う傾向が見られた場合は，生体情報を高頻度でモニタリングし，利用者の近くのセンサデバイスから環境情報を取得する．さらに高品質の映像をコミュニティに配信することで，利用者の健康状態の詳細な推定や即座の対応が可能となる．

以下，4.2 節で関連研究について述べ，4.3 節では提案するマルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式の概要について説明する．4.4 節では提案手法を用いたシステムの実装概要について述べ，4.5 節では実装したシステムを用いた実験について述べる．最後に 4.6 節でまとめについて述べる．

4.2 関連研究とその課題

本節では，IT を活用した健康支援に関する既存研究を紹介し，その課題を整理する．

IT を用いた健康支援に関しては，まず，行政組織・団体などが，健康に関する様々な情報やデータを Web 上で公開し，ユーザに対して健康管理の重要性を啓蒙する取り組みが行われてきた [5, 6, 7]．また，主に企業を中心に，高精度・多機能な医療機器の開発と，それらと Web を連動した様々な健康支援サービスの提供が行われている [8, 9]．これらの取り組みの特徴として，医療等の分野における専門家の立会いのもと，医学的・科学的根拠に基づいた高品質なコンテンツやサービス提供が挙げられる．しかし，各個人へ特化した情報・サービス提供の観点では，個人のプロフィールやプリファレンスの反映が困難なため，ユーザは必要十分な情報・サービスを得ることができるとは限らない．すなわちこ

これらの Web 上での情報検索は，ユーザが与えた文字列を用いた検索エンジンによる検索に頼らざるを得ず，的確な情報が得られなかったり，検索効率が悪化したりするなどの課題がある．

健康支援ドメインにおいては，各個人の健康状態を的確に把握することが重要である．ユビキタス情報環境を活用し，小型センサ，携帯端末，無線ネットワークを利用して健康状態をモニタリングする研究例がある．[13] では，様々なネットワーク環境に対応した健康情報をモニタリングするシステムを提案している．[14] では，学生を対象とした，写真ベースのダイエットモニタリングシステムの開発している．ユーザは食事や運動の写真を撮影し，食事のメニューや運動情報と共にサーバ側に送信する．それら写真と運動や食事に関する情報を時系列で表示している．また，[15] では，摂取・消費カロリーのバランスや，運動時間，心拍数，歩数を表示する時計型のウェアラブルデバイスを開発している．測定したデータをもとに，運動や食事の量についての簡単なアドバイスも提示する．さらに，消費カロリー，脈拍，心電図等をセンサデバイスで測定し，PDA 等携帯端末上でモニタリングする研究も行なわれている [16, 17]．他にも，軽度の認知症を持つ人の支援や，在宅高齢者の健康状態をセンサを用いて管理する研究などがある [18]．また，マルチエージェントシステムを用いて，利用者と医師との間のインタラクションを円滑にするためのモニタリングシステムも存在する [19]．

ウェアラブルなセンサデバイスを用いてユーザの生体情報や位置情報などを獲得し，これらの一次情報を分析することでユーザの行動や運動，異常状態を推定し，様々な支援を行う高度な健康支援に関する研究がある．[20] では，ユーザの手首と腰に加速度センサを付け，そこから得られたデータに応じて，どのような種類のウェイトトレーニングを何セット行なったかを自動的に認識する．また，過度なトレーニング実施時や正しくないフォームの際に通知を行なう．また [21] では，生活習慣病の改善のために必要となるデータを自動的に取得するためのウェアラブルなセンサデバイスの構築を行なっている．ここでは，加速度計や心電図測定器等の各種センサを一つのデバイスに組み込み，得られたデータから，歩いている，走っている，食事をしている等の人間の行動を自動的に識別する．さらに [22] では，センサデバイスから得られた一次データから，その人の健康状態を，特に

異常な状態であるかどうかに着目して推論し、その結果を PDA に通知する。

ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) の観点からの研究例も存在する。具体的には、運動の動機付けやモチベーションの維持のためのデバイスやインタフェースに着目した研究例である。[23] では、ユーザは万歩計を装備し、そこで測定されたデータが自動的にシステムに送られる。そして、ユーザインタフェースを介して各ユーザがどの程度頻繁に運動しているかを提示し、また友人らとの値比較を行うことで競争心や対抗意識を起こさせる仕組みになっている。[24] では、ジョギング、ランニング、マラソン等のルートを作成しナビゲートするデバイスと、そのインタフェースの構築を行なっている。ナビゲートと同時に経過時間、移動距離、心拍数等がデバイスで測定され、インタフェース上にグラフ形式で表示される。これらの研究については、ユーザの健康状態を常に監視し、各種測定データから、異常状態を判別することが可能となるが、予防等を含めた詳細なアドバイスや付加情報の提示までは行なわれていない。

それに対し、ユーザに合わせて健康に関する情報やアドバイスを的確に提供する知的健康支援システムの研究がある。[10] では、フィンランドにおける健康情報ポータルサイトについて述べている。ここでは、医療情報について、専門化の視点と一般ユーザの視点の不整合（例えば、用語の使い方等）を解消する試みが行われている。具体的には、医療分野の専門用語による情報検索だけでなく、トピック、日常事象、身体部位などの指定による一般市民対象の語彙を積極的に利用し、ユーザにとっての利便性・柔軟性を向上させている。また、個人のプライバシーとセキュリティ上の安全性を十分に確保し、住民に高度な健康サービスを提供できる次世代ネットワークシステムのプロトタイプを構築することを目的とした研究がある [11]。これらの研究については、健康に関する知識を工学的手法でモデル化し、システムに組み込むことで、アドバイスや関連した情報を自動生成している。しかしながらそのシステム構築には健康管理や情報工学など多様な分野の専門知識を必要とし、異分野の専門家同士の協力や連携が課題である。また、モデル化した知識の十分な検証が困難である。

実用的なシステムとしては、健康管理統合システムとしての健康支援システムの実現例が登場しつつある。たとえば [12] では、企業における従業員の健康管理を統合的に行う

ためのシステムの構築を行なっている。

上記で述べた関連研究の分析結果から，現状の健康支援システムの課題を以下に示す。

(P3): 支援システムによる実空間からの効果的な情報取得に関する課題

センサデバイスからリアルタイムで生体情報を獲得し，健康状態を判定する研究が行なわれているが，これらにより得られる情報は特定個人の限定された種類の生体情報のみであり，健康状態の正確な推定には限界がある．生体情報に加えて，利用者の物理的位置情報，周囲の様子を示す環境情報（室温，部屋の明るさ，電気機器の使用状況など），利用者の映像情報等を利用することにより，より正確に利用者の状態を把握することが可能となる．しかしながら，ユビキタス情報環境の計算機資源，ネットワーク資源の制約から，これらの実環境の情報を全て獲得することは困難である．従って，実環境からの効果的な情報獲得手法を検討する必要がある．

4.3 マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式の提案

本研究では，4.2 節で述べた課題の解決を目指し，マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式を提案する．本手法の概要を図 4.1 に示す．

マルチエージェントシステムは，各種システムコンポーネントをラッピング（エージェント化）することでエージェントとして動作可能とし，エージェント群の組織的動作によって所望の処理を実現する分散型自律協調システムである．

個々のエージェントは，生体情報や環境情報を獲得する各種センサ・デバイスに対し個別に配備され，それらのハードウェア監視や制御を行う．また，獲得したデータを管理するデータベースもエージェント化される．このセンサ・デバイスとデータベースの協調により，ネットワークの利用状況，センサ・デバイスの稼働状況，データベースの負荷状況に応じて獲得する情報の質や獲得頻度等を調整し，実環境の多様な情報の効果的な獲得を実現する．

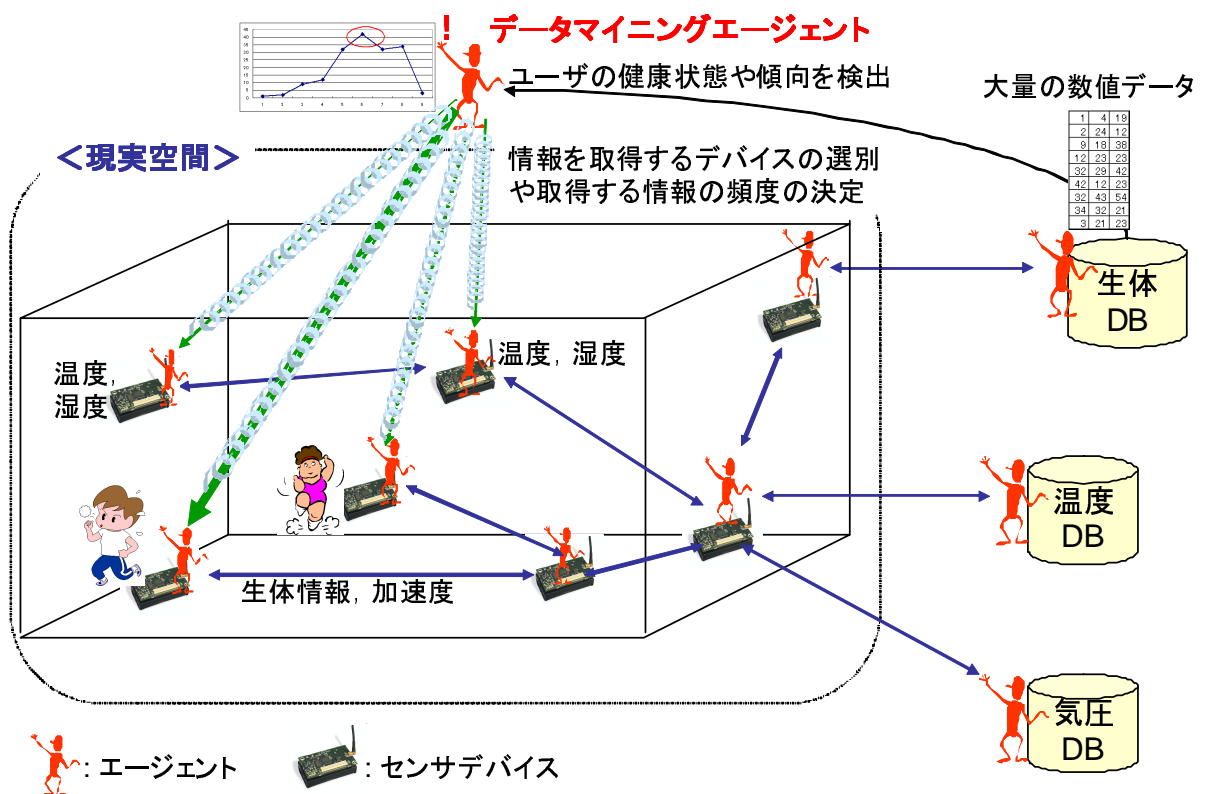


図 4.1: マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式の概要

また、本手法にデータマイニング技術の導入を検討している。データマイニング技術により、データベースに大量に蓄えられた生体情報から、利用者の健康状態の傾向や正常状態からの逸脱を検地することが可能となる。そして、そのデータマイニングの結果に応じて、情報を取得するセンサを選別したり、取得する情報量を決定する。例えば、利用者が正常に運動をしている場合は、生体情報を適度な頻度でモニタリングし、品質を落とした映像をコミュニティに配信する。また、利用者の健康状態に普段と違う傾向が見られた場合は、生体情報を高頻度でモニタリングし、利用者の近くのセンサデバイスから環境情報を取得する。さらに高品質の映像をコミュニティに配信することで、利用者の健康状態の詳細な推定や即座の対応が可能となる。

本手法により、システムの稼動状況や利用者の健康状態に応じて、適切に実空間から各種情報を取得することが可能となる。

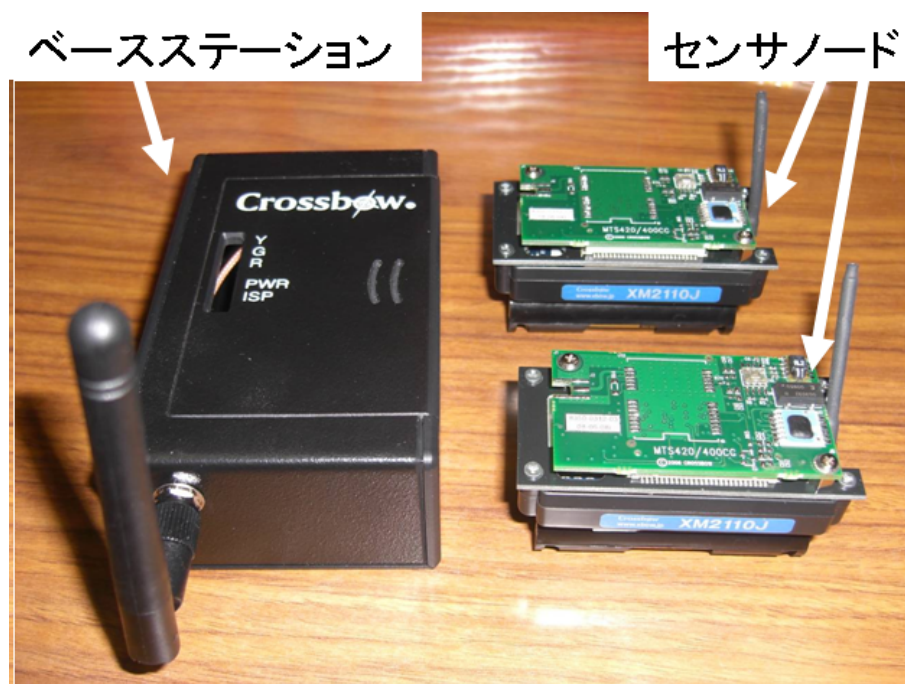


図 4.2: クロスボー MOTE

4.4 実装

本節では，実環境からの情報取得を実現するプロトタイプシステムの実装について述べる．実空間から環境情報を取得するセンサデバイスとしてクロスボー MOTE[75] を使用する．クロスボー MOTE は各種センサを搭載できる無線センサ端末兼中継アドホックネットワーク構築のための開発キットで，光度センサ，温度センサ，湿度センサ，気圧センサ，2 軸の加速度センサなどを搭載したセンサノードと，センサから得られた情報を受信するベースステーション（BS）から構成される．図 4.2 にクロスボー MOTE のセンサノードとベースステーションを示す．各センサノードがそれぞれ自動中継機能も持ち電波環境を常時自動的に察知して，自発的にアドホック・マルチホップ・ネットワークを構成する．それぞれ自動中継機能があるため，遠くはなれたセンサノードの出力も複数リレー中継によりデータを伝達する．またセンサノードには他のセンサ基盤の外付けが可能となっている．

エージェントの開発には，ルール型推論に基づくエージェントフレームワークである

DASH[73] と，その開発支援環境である IDEA[74] を使用する．

4.5 予備実験

4.5.1 実験概要

利用者の日々の健康状態を管理するために，センサノードを使用して実空間から温度や湿度などの環境情報を取得し，データベースに保存しておく環境が望まれる．この時，センサやデータベースなどを含めた計算機資源やネットワーク資源の制約から，絶えず実空間から環境情報を取得し続けた場合に，各資源に負荷がかかり，取得情報が欠落することが考えられる．本予備実験ではセンサノードからの取得情報量を動的に調整せず，定期的に実空間から情報を取得した場合に，どの程度の情報が取得できるかを確認し，既存手法における取得情報量の限界を探ることを目的とする．

4.5.2 実験環境

実験環境を図 4.3 に示す．センサノードにはクロスボー社の SN21140J[76] を使用し，このセンサノード 8 個を 3 部屋に配置する．センサノードには温度，湿度，気圧，光度，2 軸の加速度を測定するセンサ基盤が備え付けられている．各センサノードは 3 秒間隔で温度，湿度，気圧，光度，2 軸の加速度を含めた環境情報をセンシングし，それら環境情報を一まとめにして，ベースステーション（BS）へ送信する．BS にはクロスボー社の BU2110J[77] を使用する．BS が環境情報を受け取ると，逐次，BS エージェントがデータベース（DB）エージェントに環境情報を送信する．DB エージェントは受信した環境情報をデータベースに格納する．このときのベースステーション搭載 PC，データベース搭載 PC 上での取得情報量，CPU 使用率の時間変化を測定する．

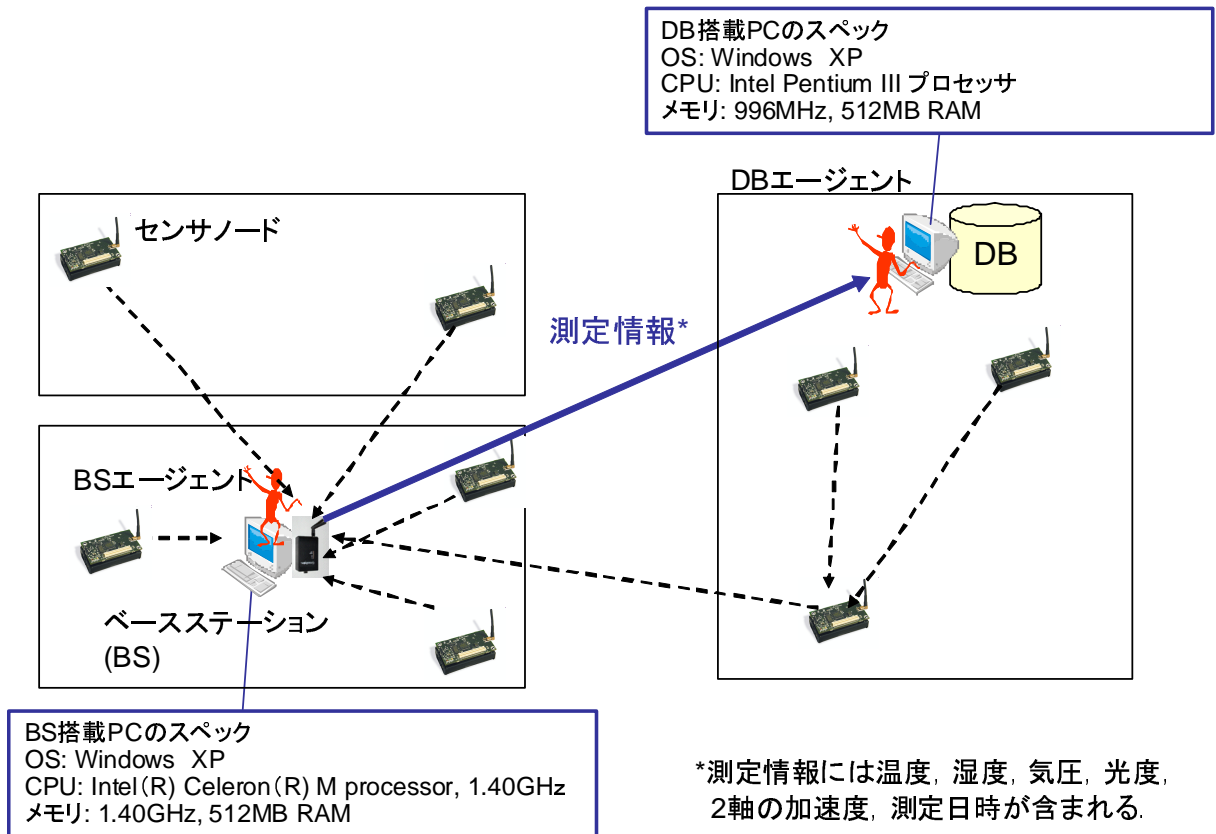


図 4.3: 実験環境

4.5.3 実験結果

図 4.4 に実験結果を示す．図に示すグラフは経過時間に対するベースステーション搭載 PC とデータベース搭載 PC 上で観測した 1 分間あたりの情報の取得回数と CPU 使用率を表している．グラフの横軸は経過時間を表している．左側の縦軸は 1 分間あたりの情報の取得回数を表しており，赤色のグラフはベースステーション搭載 PC 上での情報の取得回数を，灰色のグラフはデータベース搭載 PC 上での情報の取得回数を表している．右側の縦軸は 1 分間あたりの CPU 使用率の平均を表しており，緑色のグラフはベースステーション搭載 PC 上での CPU 使用率を，青色のグラフはデータベース搭載 PC 上での CPU 使用率を表している．グラフから実験開始当初は 1 分間あたり 60 回程度，情報を取得していたことがわかる (a)．情報を取得し始めてから 150 分後に各 PC の CPU 使用率，特にベースステーション搭載 PC の上昇に伴い，情報の取得回数が減少した (b)．1000 分後に

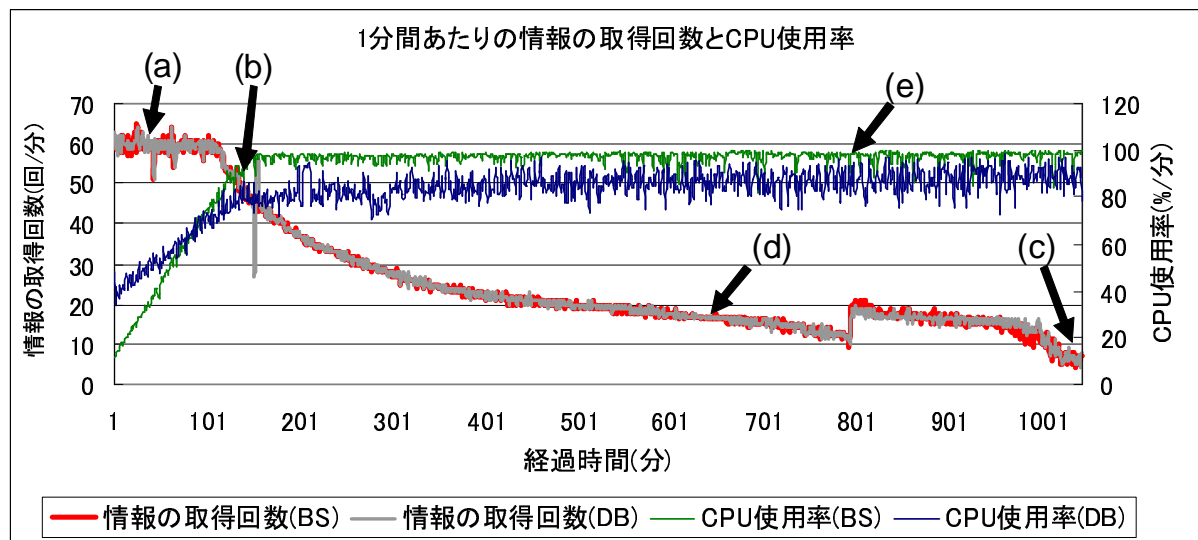


図 4.4: 1 分間あたりの情報の取得回数と CPU 使用率

は 1 分間あたりの情報取得回数は 10 回以下まで減少した (c) .

4.5.4 考察

4.5.3 節の実験結果で示したとおり，センサからの情報量を動的に調整しない既存手法では，センサから情報を取得し続けた場合に，各資源への負荷の上昇に伴い，取得情報量が減少することを確認した．

図 4.4 から既存手法において，予想されるボトルネックについて考察する．グラフから，BS 側で測定した取得情報量と DB 側で測定した情報量に差分はなかったことから，BS エージェントと DB エージェントとの間の通信により情報の欠落はなかったことがいえる．すなわち，本実験において，エージェント間通信上でボトルネックとなる可能性は低いことが考えられる．また，DB 搭載 PC よりも BS 搭載 PC 上の CPU 使用率の上昇並びに数値が大きいことから (e)，ベースステーション上並びに，データベース上，特にベースステーション上のエージェントフレームワークに負荷がかかり，センサからの情報取得に影響を与えている可能性が高いことが伺える．

ここで，本章で提案したマルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式を

導入することで、PCを含む各資源の負荷状況や利用者の健康状態に応じて、動的に取得する情報量を調整することが可能となる。それにより各資源に負荷がかかった場合でも、取得情報量の減少を抑制し、効果的に実空間から情報を取得することが期待できる。さらに、データマイニング技術の導入により、DBに蓄えられた大量の情報から利用者の健康状態の傾向や正常時からの逸脱の発見が期待される。これら技術の組合せにより、例えば、利用者が正常に運動をしている場合は生体情報を適度な頻度でモニタリングし、品質を落とした映像をコミュニティに配信したり、利用者の健康状態に普段と違う傾向が見られた場合には生体情報を高頻度でモニタリングし、近く的环境情報を取得して、さらに高品質の映像をコミュニティに配信したりすることの実現が期待される。

4.6 おわりに

本章では、限られた情報資源から実環境の情報を全て獲得することは困難、すなわち、支援システムによる実空間からの効果的な情報取得に関する課題を解決するため、マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式を提案し、その概要を示した。また実空間から情報を取得するためのプロトタイプシステムを構築し、実験を通じて既存手法では情報を取得し続けた場合に資源に負荷がかかり、情報量が減少することを示した。提案手法の導入により、システムの稼働状況、利用者の健康状態に応じて、取得するセンサを識別し、また取得情報量を動的に調整することが可能となり、効率的に実空間からのデータ取得が可能になることが期待される。

第5章 結論

5.1 結論

本研究では，実環境の多様な情報を効果的に取得・活用し，プライバシーを考慮した高度な健康支援サービスの提供を目指す．それを，従来のユビキタス情報環境における健康支援システムを，ユビキタス性，インテリジェンスの観点でさらに高度化し，人間の日常生活により密着した，利用者にやさしい見守り型健康支援システムとして実現する．本論文では利用者にやさしい見守り型健康支援システムの実現のために，以下の課題に取り組んだ．

(P1): 支援システムから利用者への高度なアドバイス提供に関する課題

既存の健康支援システムにおける情報提供は，従来のホームページ記述言語（html）で記述されているため，検索エンジンやエージェント等がそれら内容の意味を理解することができず，文字列によるパターンマッチングに基づく検索しか行えないため，的確な情報を得られなかったり，検索効率が悪化したりする等の課題があった．その結果，あらゆる健康状態に応じたそれぞれのアドバイス（適切な運動や食事とそれらの頻度，また，不適切な運動等）や，各運動や食事における効果等が混在して記載されている Web ページの中から，自分に合った改善方法を探すのは一般に難しく，利用者の立場からすると，自分の要求や健康状態に応じた情報やアドバイスを容易に取得できないという問題があった．そのため利用者の目標や健康状態に応じた，利用者が満足する情報やアドバイスを自動生成する仕組みが必要となる．

(P2): 利用者のプライバシーレベルの制御に関する課題

利用者を中心としたコミュニティで利用者の健康状態を見守ることで，利用者の健康状

態が急激に悪化した等，緊急時にも瞬時に対応可能になるが，過度な見守りにより利用者のプライバシーを侵害してしまう危険性がある．つまり，利用者が望むサービス品質やプライバシーを自律的に判断する上で必要な情報である「利用者の状況」や「人間関係」の導出に関する課題が存在する．すなわち，利用者の状況や人間関係の導出においては，現実空間を把握するセンシング情報の量的・質的な制約や，利用者プロフィールに関するプライバシー制約が存在し，少ないセンシング情報・プロフィール情報から，利用者の状況や人間関係を導出することが困難であるという問題点がある．そのため利用者が望むサービス品質やプライバシーを自律的に判断する仕組みが必要となる．

(P3): 支援システムによる実空間からの効果的な情報取得に関する課題

既存の健康支援システムでは，生体情報のみを取得し，それに基づいて利用者自身やシステムが利用者の状態を推定している．そこで，生体情報に加えて，利用者の物理的位置情報，周囲の様子を示す環境情報（室温，部屋の明るさ，電気機器の使用状況など），利用者の映像情報等を利用することにより，より正確に利用者の状態を把握することが可能となる．しかしながら，ユビキタス情報環境等は計算機資源，ネットワーク資源に制約があることから，これらの実環境の情報を全て獲得することは困難である．従って，実環境からの効果的な情報獲得手法を検討する必要がある．

上記3つの課題を解決するために，本研究では共生コンピューティングの概念に基づき，以下の3つを提案した．

(S1): オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイス導出

セマンティック・ウェブ技術を利用し，人々の健康維持・促進，特に生活習慣病の改善のためのアドバイス導出手法を提案した．本提案手法では，利用者からアドバイス要求があると，利用者の情報や要求に応じて，その利用者に合った運動や食事のアドバイスを自動的に導出する．的確なアドバイスを導出するために，健康と運動・食事についての知識，すなわち，これらドメインでの諸概念とそれらの間の関係をオントロジとして体系化した．オントロジにおいて，健康と運動，食事に関する知識は，それぞれ関連付けられているが，推論によりそれらの知識に新たな関係を導出し，それをアドバイスとして提供した．

本提案により，様々な状況に柔軟に対応し，利用者が満足する健康アドバイスの自動導出が可能になった．例えば，目標達成のための推奨運動（食事）や健康状態に応じた，行うことに問題のある運動（食事）の自動導出・提示が可能となった．これは共生コンピューティングにおけるパーセプチュアルウェアに対応する．

提案 (S1) により，(P1): 支援システムから利用者への高度なアドバイス提供に関する課題を解決した．

(S2): 利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシーレベル要求の動的生成

「社会的知識」を利用した推論による状況・人間関係・生活習慣の認識と，それに基づくサービス品質・プライバシーレベル要求の動的生成手法を提案した．

本提案により，人間の行動と時間の関係，特に人間の生活習慣を把握することが可能になった．さらに既存の高齢者見守り支援システムである uEyes[29, 30, 31, 32, 33, 34, 35] に組み込むことで人間関係や状況，特に生活習慣に対応した適切なサービス品質とプライバシーレベルの自動生成が可能になった．これは共生コンピューティングにおけるソーシャルウェアに対応する．

提案 (S2) により，(P2): 利用者のプライバシーレベルの制御に関する課題を解決した．

(S3): マルチエージェントに基づくセンサデータの情報量制御方式

ネットワークの帯域や DB の稼働状況に応じて，センサからのデータ取得量を動的に調整する情報量制御方式を提案した．本提案の特徴として，データマイニング技術の導入が挙げられる．データマイニング技術の導入により，大量に蓄えられた生体情報から利用者の健康状態や傾向を検出することが可能となり，データマイニングの結果に基づきシステムの振舞いを制御し，取得するセンサを識別し，そしてセンサから取得する情報量を決定する．

本提案により，システムの稼働状況，利用者の健康状態に応じて，効率的に実空間からのデータ取得が可能になる．例えば，利用者が正常に運動をしている場合は，生体情報を適度な頻度でモニタリングし，品質を落とした映像をコミュニティに配信する．また，利用者の健康状態に普段と違う傾向が見られた場合は，生体情報を高頻度でモニタリン

	取得 情報	取得 方法	提供する サービス	サービス 提供対象者	サービス 提供方法
(S1)健康アドバイ ス導出(2章)	身体・生体情報	静的	個人に特化した 健康アドバイス	健康支援対象者	受動的
(S2)プライバシ 保護レベルの 制御(3章)	位置情報、 映像情報	動的	健康支援対象者の 様子や状態(映像、画像)	健康支援対象者 のコミュニティ (見守り側)	能動的
(S3)実空間から の情報取得(4章)	環境情報、 位置情報、 身体・生体情報、 映像情報	動的			
(S1), (S2), (S3) の統合による 「やさしい見守り 型」の実現	環境情報、 位置情報、 身体・生体情報、 映像情報	動的	個人に特化した健康 アドバイスや健康支援 対象者の様子	健康支援対象者と そのコミュニティ	能動的

図 5.1: 各提案の関連性

グし、利用者の近くのセンサデバイスから環境情報を取得する。さらに高品質の映像をコミュニティに配信することで、利用者の健康状態の詳細な推定や即座の対応が可能となる。ことが期待される。これは共生コンピューティングにおけるソーシャルウェアに対応する。

提案 (S3) により、(P3): 支援システムによる実空間からの効果的な情報取得に関する課題の解決が期待される。

各提案の関連性について図 5.1 に示す。各提案により、利用者にやさしい見守り型健康支援システムの実現へ向けて、重要となる 3 つの機能が実現できる。各提案手法が連携することにより、実環境の多様な情報を効果的に取得・活用し、プライバシを考慮した高度な健康支援サービスの提供が可能になり、やさしい見守り型健康支援システムの実現への貢献が期待される。

5.2 共生コンピューティングの概念の導入に関する知見

オントロジの主な役割である概念間の相対的な関係を規定することにより、利用者の要求や社会性、人間関係について、それらの関連性をシステムが認識し、的確にサービスに

反映することが可能になった．このことにより，共生コンピューティングにおけるパーセプチュアルウェア，ソーシャルウェアの機能向上が期待される．

また，オントロジ特有の語彙（階層関係，同一性，対象関係，遷移関係など）により概念関係をたどることで明示的に記述されていない知識についてシステムが認識可能になり，知識記述量の低減・多様な状況に対応可能となった．さらに，オントロジにより概念定義に基づいた知識表現が可能になり，知識記述の信頼性が向上した．これらにより，共生コンピューティングに基づくシステムのための効果的な知識表現手法としてオントロジが有効であることがわかった．

さらに，システムの実装において，オントロジに基づいた推論システムを DB システムと連携し，システム構築を行った．すなわち，利用者の健康状態や運動の影響等の関連に関する知識を，オントロジを用いて表現している．オントロジは概念的な定義・関係を容易に記述することが可能で，より高度な知識表現が可能であるが，利用者が利用した時点の健康状態を表現するオントロジ自体に，体重や血圧等の日々変化する値を予め与えておくことは適切ではない．また不特定多数の利用者が使用するシステムにおいて，年齢や性別等，各利用者の個人情報をあらかじめオントロジに個体として与えておくことは柔軟性に欠ける．そこで，運動や健康状態における概念的な一般知識と，各運動の種類や具体的な目標等長期にわたってさほど変化しない事実関係に関しては，知識表現力の高いオントロジとしてあらかじめ与えておき，そのほか，時間経過とともに短期間で変化する利用者の情報に関しては，データの保守性の高い DB で管理するシステム構成を採用した．実際に利用者が健康アドバイスを要求した場合は，DB から利用者の情報を取得し，それをオントロジの個体として与えて推論を実行することで，利用者の目標や健康状態を考慮したアドバイス提供を行う．これにより，共生コンピューティングに基づくシステムのための効果的な知識管理の枠組みとしてオントロジが有効であることがわかった．

以上より，オントロジは，共生コンピューティングの実現に向けて，特にソーシャルウェアにおける重要な技術要素であることを示した．

5.3 オントロジの適用に関する考察

本節ではオントロジ適用における利点と欠点，ならびに第2章，第3章におけるオントロジ構築時の問題点を述べる．

5.3.1 オントロジ適用による利点

オントロジ適用による利点として以下の2点が挙げられる．

- インスタンス生成や推論過程における信頼性の向上
- 推論結果の根拠の明確化

これはいずれもオントロジにより概念レベルでの関係を明示的に表現可能となることに起因する．概念定義に基づきインスタンスが生成されるため，概念定義に逸脱したインスタンスは生成することはないためである．推論により新たな関係が導出される場合も，概念定義に基づいた関係が生成される．また，推論の際に概念関係をたどることで，なぜその推論結果が導き出されたかという明確な説明が可能となる．これは推論メカニズムの検証にも役立つと考えられる．

5.3.2 オントロジ適用による欠点

オントロジは基本的に主語, 述語, 目的語の3つ組み(トリプル)の集合から構成される．すなわち2項関係のみモデリングが可能となっている．そのため n 項関係の直接表現は不可能であるという欠点が挙げられる．

5.3.3 実際のオントロジ構築において問題となった点

オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイス導出

第2章「オントロジに基づく利用者の目標・健康状態に応じた健康アドバイス導出」におけるオントロジ構築において、作りにくかった点として異分野（健康支援）の専門家との連携が困難であった点が挙げられる。異分野の専門家との間では考え方や用語の違い等があり十分なサポートは得られず、今回は独自にオントロジを作成した。これら課題を解消するためには双方の考え方の相違を吸収するためのオントロジ開発論や支援ツールの開発などが挙げられる。

利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシーレベル要求の動的生成

第3章「利用者の状況・人間関係・生活習慣を考慮したサービス品質とプライバシーレベル要求の動的生成」におけるオントロジ構築において、作りにくかった点として、各個人に関する情報である生活習慣のファクトと一般的な行動のインスタンスの関連付けが困難であった点が挙げられる。例えば「寝る」という行動のインスタンスと「毎日20時から7時までの間」という生活習慣に関するインスタンスを関連付けた場合、それがどの利用者に関する知識なのかが不明確となる。これは、5.3.3節で述べたようにオントロジでは2項関係しかモデリングできないという欠点に起因する。

この問題はトリプルを具象化（reification）[36]し、利用者と行動との関係（トリプル）そのものに対して生活習慣に関するインスタンスを関連付けることで解消した。

5.4 今後の課題

支援システムから利用者への高度なアドバイス提供に関する課題に関しては、利用者の様々な健康状態に応じて、より多様なアドバイスを導出できるようオントロジや推論ルールを拡張していく。例えば、and条件でつながった推論ルールの前提条件において、どの

条件が false になっているかを見つける推論ルールを導入し，さらに詳細に推論を分析することで，より詳細なアドバイスや，明確な推論結果の根拠の提示することが考えられる．

利用者のプライバシーレベルの制御に関する課題に関しては，利用者の生活習慣を取得するための手法の検討や，生活習慣を記述するためのオントロジの詳細化が挙げられる．例えば，生成されるインスタンスのタイミングを記録して，そこで蓄えられた事例から学習し，生活習慣を導出する方法などが考えられる．

支援システムによる実空間からの効果的な情報取得に関する課題に関しては，提案手法についてのより詳細な検討と，実装，並びに実験を行う．

それぞれの提案手法を組合せて，やさしい見守り型健康支援システムのプロトタイプの実装を行い，フィールドテストを通じて，3つの提案を組み合わせた本提案の総合評価を行う．

謝辞

本論文を終えるにあたり，日頃の研究活動の際に貴重な御指導を頂いてきた東北大学電気通信研究所教授 白鳥則郎先生に心から感謝致します．

また，本論文の審査にあたり，東北大学大学院情報科学研究科教授 橋本和夫先生には有意義な御指導，御助言を頂き心より感謝致します．

そして，審査時のみならず，本研究を行うにあたり，日頃から熱心に指導して頂きました，東北大学サイバーサイエンスセンター教授 木下哲男先生に深く感謝いたします．

さらに，研究活動のみならず，研究室においての日頃の活動を常に支えて頂きました，東北大学電気通信研究所准教授 菅沼拓夫先生に心より感謝致します．

また，本研究を行うにあたり，セミナーや論文執筆の面で有意義な御指導を頂きました，仙台電波工業高等専門学校情報工学科教授 加藤靖先生，並びに，仙台電波工業高等専門学校情報通信工学科教授 高橋薫先生に心より感謝致します．

常に研究について貴重な御意見を頂いた東北大学電気通信研究所 白鳥研究室の皆様に感謝するとともに，この場を借りて厚く御礼申し上げます．

最後に，これまで日常生活のあらゆる面で私を支えてくれた多くの方々と，これまで精神的，経済的に支えてくれた家族に深く感謝して，本論文を締めくくりたいと思います．

発表論文

論文

1. 和泉諭, 加藤靖, 高橋薫, 菅沼拓夫, 白鳥則郎, “オントロジを利用した健康支援システムの提案とその評価,” 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.2, pp.822–837, 2008.
2. S. Izumi, K. Yamanaka, Y. Tokairin, H. Takahashi, T. Suganuma, and N. Shiratori, “Ubiquitous Supervisory System based on Social Contexts using Ontology,” Mobile Information Systems. (採録決定済)
3. H. Takahashi, K. Yamanaka, S. Izumi, Y. Tokairin, T. Suganuma, and N. Shiratori, “A Gentle Supervisor System based on Integration of Environment Information and Social Knowledge,” Journal of Ubiquitous Computing and intelligence. (採録決定済)

国際会議

1. S. Izumi, N. Yasuda, G. Itabashi, Y. Kato, K. Takahashi, T. Suganuma, and N. Shiratori, “A Health Advice Derivation System based on an Ontology,” Proc. of the 6th International Semantic Web Conference and the 2nd Asian Semantic Web Conference (ISWC2007+ASWC2007), pp.35–36, 2007.
2. H. Takahashi, S. Izumi, T. Suganuma, T. Kinoshita, and N. Shiratori, “Design of User-oriented Healthcare Support System based on Multi-agent,” Proc. of International Workshop on INformatics (IWIN2008), pp.144–151, 2008.
3. N. Yasuda, K. Sato, S. Izumi, Y. Kato, K. Takahashi, and N. Shiratori, “Viewing Ontolo-

- gies with Spatial and Temporal Information, ” ASWC2008 Poster and Demo Proceedings, pp.3–4, 2008.
4. T. Nantiruj, N. Maneerat, R. Varakulsiripunth, S. Izumi, N. Shiratori, T. Kato, Y. Kato, and K. Takahashi, “An e-Health Advice System with Thai Herb and An Ontology, ” Proc. of the 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (ISBME2008), pp.315–319, 2008.
 5. Y. Sato, S. Izumi, H. Takahashi, T. Suganuma, and N. Shiratori, “An Adaptive Control Scheme of Context Information for Ubiquitous Computing Environment, ” Proc. of the 4th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2008), pp.116–123, 2008.
 6. H. Takahashi, S. Izumi, T. Suganuma, T. Kinoshita, and N. Shiratori, “An Agent-based Healthcare Support System in Ubiquitous Computing Environments, ” The 7th International Conference On Smart Homes and Health Telematics (ICOST2009). (submitted)
 7. T. Suganuma, H. Takahashi, S. Izumi, T. Kinoshita, and N. Shiratori, “User-oriented Healthcare Support System based on Symbiotic Computing, ” The 8th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI2009). (submitted)

研究会・ワークショップ

1. H. Takahashi, S. Izumi, T. Suganuma, T. Kinoshita, and N. Shiratori, “A Design of Social Awareness for Ubiquitous Supervisory Systems, ” 第 16 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2008), pp.169–174, 2008. (優秀論文賞)
2. S. Izumi, Y. Kobayashi, H. Takahashi, T. Suganuma, T. Kinoshita, and N. Shiratori, “Design of User-oriented Healthcare Support System based on Symbiotic Computing, ” 電子情報通信学会技術研究報告 IN 研究会, Vol.108, No.204, IN2008-51, pp.45–50, 2008.

3. S. Izumi, T. Kato, N. Maneerat, R. Varakulsiripunth, Y. Kato, K. Takahashi, and N. Shiratori, “An Ontology-based e-Health Advice System with Thai Herb,” 平成 20 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, p.16, 2008.
4. 高橋秀幸, 和泉諭, 小林有佑, 菅沼拓夫, 木下哲男, 白鳥則郎, “やさしい見守り型健康支援システムの実現に向けて,” 情報処理学会研究報告, DPS-135, pp.35–40, 2008.
5. 和泉諭, 高橋秀幸, 菅沼拓夫, 木下哲男, 白鳥則郎, “ユビキタス情報環境における知的健康支援システムの開発に向けて,” 平成 19 年度第 5 回情報処理学会東北支部研究会論文集, pp. 85–88, 2008.

参考文献

- [1] 厚生労働省, “生活習慣病を知ろう!,” <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/seikatu/>.
- [2] P.A. Ades, “Cardiac rehabilitation and secondary prevention of coronary heart disease,” *The New England journal of medicine* 111, pp.369–376, 2001.
- [3] R.J. Shephard, and G.J. Balady, “Exercise as Cardiovascular Therapy,” *Circulation*, New York 99, pp.963-972, 1999.
- [4] M.S. Sothorn, M. Loftin, R.M. Suskind, J.N. Udall, and U. Blecker, “The health benefits of physical activity in children and adolescents: implications for chronic disease prevention,” *European Journal of Pediatrics*, Vol.158, No.4, pp.271-274, 1999.
- [5] 厚生労働省, “健康,” <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/index.html>.
- [6] 健康・体力づくり事業財団, “健康ネット,” <http://www.health-net.or.jp/>.
- [7] 株式会社ヘルスクリニック, “health クリック | 健康 生活習慣病 サプリメント,” <http://www.health.ne.jp/>.
- [8] オムロン ヘルスケア, “健康増進・疾病予防ツール,” <http://www.ch-kentatsu.jp/>.
- [9] 日立評論, Vol. 89, No. 12, 2007.

- [10] E. Hyvonen, K. Viljanen, and O. Suominen, "HealthFinland - Finnish Health Information on the Semantic Web," K. Aberer et al. (Eds.): ISWC/ASWC 2007, LNCS 4825, pp.778–791, 2007.
- [11] 仙台応用情報学研究振興財団, "健康福祉のための先進的エージェント・ネットワークに関する研究," <http://air.silpheed.jp/users/sfais/0.php>.
- [12] D. Noheji, G. Itabashi, T. Yoshida, and A. Togashi, "Human Resource Management System introducing Healthcare of Employee," ISWC2007+ASWC2007 Poster+Demo Proceedings, pp.79–80, 2007.
- [13] U. Varshney, "Pervasive Healthcare and Wireless Health Monitoring," ACM/Baltzer Journal of Mobile Networks and Applications, Vol.12, No.2-3, pp.113–127, 2007.
- [14] B. Brown, M. Chetty, A. Grimes, and E. Harmon, "Reflecting on Health: A System for students to monitor diet and exercise," Proc. of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'06), pp.1807–1812, 2006.
- [15] R. Gockley, M. Marotta, C. Rogoff, and A. Tang, "AVIVA: A Health and Fitness Monitor for Young Women," Proc. of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'06), pp.1819–1824, 2006.
- [16] D. Kuriyama, S. Izumi, G. Itabashi, S. Kimura, Y. Ebihara, K. Takahashi, and Y. Kato, "Design and Implementation of a Health Management Support System Using Ontology," Proc. of the International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2007), pp.746–749, 2007.
- [17] D. Cruz, and E. Barros, "Vital Signs Remote Management System for PDAs," Proc. of the 2005 8th Euromicro Conference on Digital System Design, pp.170–173, 2005.
- [18] R-M. Dröes et al., "Healthcare Systems and Other Applications," IEEE Pervasive Computing, Vol.6, No.1, pp.59–63, 2007.

- [19] V. Chen, P. Ray, and N. Parameswaran, "Mobile e-Health monitoring: an agent-based approach, " IET Communications, Vol.2, No.2, pp.223–230, 2008.
- [20] K. Chang, M.Y. Chen, and J. Canny, "Tracking Free-Weight Exercises, " J. Krumma et al. (Eds.): UbiComp 2007, LNCS 4717, pp.19–37, 2007.
- [21] K. Ouchi, T. Suzuki, and M. Doi, "LifeMinder: A Wearable Healthcare Support System with Timely Instruction Based on the User's Context, " IEICE Transaction on Information and Systems, Vol.E87-D, No.6, pp.1361–1369, 2004.
- [22] E.J. Ko, H.J. Lee, and J.W. Lee, "Ontology-Based Context Modeling and Reasoning for U-HealthCare," IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E90-D, No.8, pp.1262–1270, 2007.
- [23] N. Ali-Hasan, D. Gavales, A. Peterson, and M. Raw, "Fitster: social fitness information visualizer, " Proc. of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'06), pp.1795–1800, 2006.
- [24] M. Kudlacz, R. Tan, J. Prindiville, and M. Peters, "RoutePlanner, " Proc. of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'06), pp.1849–1854, 2006.
- [25] 白鳥則郎, 菅原研次, 菅沼拓夫, 藤田茂, 小出和秀, "Symbiotic Computing –ポスト・ユビキタス情報環境へ向けて–," 情報処理学会誌, Vol.47, No.8, pp.811–816, 2006.
- [26] Symbiotic Computing Home Page, <http://symbiotic.agent-town.com/>.
- [27] T. Suganuma, K. Sugawara, and N. Shiratori, "Symbiotic Computing: Concept, Architecture and Its Applications, " Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC2007), LNCS Vol.4611, pp.1034–1045, 2007.
- [28] T. Suganuma, T. Uchiya, S. Konno, G. Kitagata, H. Hara, S. Fujita, T. Kinoshita, K. Sugawara, and N. Shiratori, "Bridging the E-Gaps: Towards Post-Ubiquitous Computing,

” Proc. of the 1st International Symposium on Frontiers in Networking with Applications (FINA 2006), pp.480–484, 2006.

- [29] H. Takahashi, Y. Tokairin, T. Sukanuma, and N. Shiratori, “Design and Implementation of An Agent-based middleware for Context-aware Ubiquitous Services, ” Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques, Vol.129, pp.330–350, 2005.
- [30] 高橋秀幸, 山中一宏, 東海林祥一, 北形元, 菅沼拓夫, 白鳥則郎, “uEyes: 見る側と見守られる側の双方にやさしいリアルタイム見守り支援システムの提案,” 情報科学技術レターズ (FIT2006), Vol.5, pp.415–418, 2006.
- [31] H. Takahashi, Y. Tokairin, K. Yamanaka, T. Sukanuma, T. Kinoshita, K. Sugawara, and N. Shiratori, “uEyes: A Ubiquitous Care-Support Service based on Multiple Contexts Coordination, ” Proc. of IEEE International Conferences on Symposium on Applications and the Internet (SAINT’2007), 2007.
- [32] H. Takahashi, Y. Tokairin, K. Yamanaka, T. Sukanuma, T. Kinoshita, K. Sugawara, N. Shiratori, “A Ubiquitous Care-Support Service based on Agent-oriented Multiple-Context Coordination, ” Journal of Networks, Vol.2, No.5, pp.33–45, 2007.
- [33] K. Yamanaka, Y. Tokairin, H. Takahashi, T. Sukanuma, and N. Shiratori, “A Pervasive Watch-over System based on Device, User and Social Awareness, ” Proc. of the 5th International Conference On Smart Homes and Health Telematics (ICOST2007), pp.20–30, 2007.
- [34] T. Sukanuma, K. Yamanaka, Y. Tokairin, H. Takahashi, K. Sugawara, and N. Shiratori, “A Ubiquitous Watch-over System based on Environmental Information and Social Knowledge, ” Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC2007), LNCS Vol.4611, pp.1108–1120, 2007.

- [35] T. Suganuma, K. Yamanaka, Y. Tokairin, H. Takahashi, and N. Shiratori, “A Ubiquitous Supervisory System based on Social Context Awareness, ” Proc. of the 22th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2008), pp.370–377, 2008.
- [36] 神崎正英, “セマンティックウェブのための RDF/OWL 入門,” 森北出版, 2005 .
- [37] 溝口理一郎, “オントロジー研究の基礎と応用,” 人工知能学会誌, Vol.14, No.6, pp.977–988, 1999.
- [38] 溝口理一郎, 池田満, 来村徳信, “オントロジー工学基礎論,” 人工知能学会誌, Vol.14, No.6, pp.1019–1032, 1999.
- [39] AIDOS 編著, “オントロジ技術入門,” 東京電機大学出版局, 2005.
- [40] C. Golbreich, and S. Mercier, “ Construction of the Dialysis and Transplantation Ontology, Advantages, Limits and Questions about Protégé OWL, ” Workshop on Medical Applications of Protégé, 7th International Protégé Conference, 2004.
- [41] H. Cheung, Y.K. Lam, L. Marenco, T. Clark, Y. Gao, and J. Kinoshita, “AlzPharm: A Light-Weight RDF Warehouse for Integrating Neurodegenerative Data, ” ISWC 2006, Workshop for Semantic Web Health Care & Life Science, 2006.
- [42] D. Cerizza, I. Celino, and E. Della Valle, “Semantic Discovery of Medical Advice Services with Glue, ” ISWC 2006, Workshop for Semantic Web Health Care & Life Science, 2006.
- [43] W3C, “OWL Web Ontology Language Reference, ” <http://www.w3.org/TR/owl-ref>.
- [44] 上田俊夫, 池田 満, “オントロジーエディタ Protégé-OWL を使った OWL オントロジー構築,” 人工知能学会誌, Vol.21, No.4, pp.446–454, 2006.

- [45] The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System, <http://protege.stanford.edu/>.
- [46] W3C, “SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML,” <http://www.daml.org/2003/11/swrl/>.
- [47] J.B. Kopena, and W.C. Regli, “DAMLJessKB: a Tool for Reasoning with the Semantic Web,” LNCS, Vol.2870, pp.628–643, 2003.
- [48] Jess, the Rule Engine for Real Programmers, <http://herzberg.ca.sandia.gov/jess/>.
- [49] C. Golbreich, “Combining Rule and Ontology Reasoners for Semantic Web,” LNCS, Vol.3323, pp.6–22, 2004.
- [50] M. O’Connor, H. Knublauch, S. Tu, B. Grosz, M. Dean, W. Grosso, and M. Musen, “Supporting Rule System Interoperability on the Semantic Web with SWRL,” LNCS, Vol.3729, pp.974–986, 2005.
- [51] H. Eriksson, “Using JessTab to Integrate Protégé and Jess,” IEEE Intelligent Systems, Vol.18, No.1, pp.43–50, 2003.
- [52] I. Hikaru, “intelligent monitor,” <http://sendai-cyber.icr-eq.co.jp/research/inooka/>.
- [53] NTT DoCoMo, Inc., “FOMA M1000,” http://www.nttdocomo.co.jp/product/business_model/m1000/.
- [54] L. M. Camarinha-Matos, and H. Afsarmanes, “Infrastructures for collaborative networks – An application in elderly care,” Proc. of the 2005 Symposium on Applications and the Internet (SAINT’05), pp.94–101, 2005.

- [55] M. H. Sedky, M. Moniri, and C. C. Chibelushi, "Classification of smart video surveillance systems for commercial applications, " Proc. of IEEE International Conference on Advanced Video and Signal based Surveillance (AVSS2005), pp.638–643, 2005.
- [56] S. Consolvo, P. Roessler, and B. E. Shelton, "The CareNet Display: Lessons Learned from an In Home Evaluation of an Ambient Display, " Proc. of the Sixth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2004), pp.1–17, 2004.
- [57] M. Takemoto, T. Ohishi, T. Iwata, Y. Yamato, Y. Tanaka, S. Tokumoto, N. Shimamoto, A. Kurokawa, H. Sunaga, and K. Koyanagi, "Service-composition Method and Its Implementation in Service-provision Architecture for Ubiquitous Computing Environments, " IPSJ Journal, Vol.46, No.2, pp.418–433, 2005.
- [58] G. C. de Silva, B. Oh, T. Yamasaki, and K. Aizawa, "Experience Retrieval in a Ubiquitous Home, " Proc. of the 2nd ACM Workshop on Capture, Archival and Retrieval of Personal Experiences 2005 (CARPE2005), pp.35–44, 2005.
- [59] Y. Cui, K. Nahrstedt, and D. Xu, "Seamless User-level Handoff in Ubiquitous Multimedia Service Delivery, " Multimedia Tools and Applications Journal, Special Issue on Mobile Multimedia and Communications and m-Commerce, Vol.22, No.2, pp.137–170, 2004.
- [60] M. Lohse, M. Repplinger, and P. Slusallek, "Dynamic Media Routing in Multi-User Home Entertainment Systems, " Proc. of the Eleventh International Conference on Distributed Multimedia Systems (DMS'2005), 2005.
- [61] R. Masuoka, B. Parisa, and Y. Laboru, "Task Computing – The Semantic Web Meets Pervasive Computing, " Proc. of the 2nd International Semantic Web Conference (ISWC2003), pp.866–881, 2003.

- [62] E. Chiristopoulou, and A. Kameas, "GAS Ontology: An ontology for collaboration among ubiquitous computing devices," *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.62, No.5, pp.664–685, 2005.
- [63] H. Chen, T. Finin, and A. Joshi, "An ontology for context-aware pervasive computing environments," *The Knowledge Engineering Review*, Vol.18, No.3, pp.197–207, 2003.
- [64] C. Gutierrez, C. Hurtado, and A. Vaisman, "Temporal RDF," *LNCS*, Vol.3532, pp.93–107, 2005.
- [65] C. Gutierrez, C. A. Hurtado, and A. Vaisman, "Introducing Time into RDF," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol.19, No.2, pp.207–218, 2007.
- [66] J. H. Hobbs, and F. Pan, "An Ontology of Time for the Semantic Web," *ACM Transactions on Asian Language Processing*, Vol.3, No.1, pp.66–85, 2004.
- [67] Time Ontology in OWL, W3C Working Draft 27 September 2006.
- [68] H. Chen, F. Perich, T. Finin, and A. Joshi, "SOUPA: Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications," *Proc. of The First International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous2004)*, pp.258–267, 2004.
- [69] T. Gua, H. K. Pung, and D. Q. Zhang, "A service-oriented middleware for building context-aware services," *Journal of Network and Computer Applications*, Vol.28, No.1, pp.1–18, 2005.
- [70] Sun Microsystems, Java Media Framework (JMF), <http://java.sun.com/products/java-media/jmf/>.
- [71] Zone Positioning System, <http://www.furukawakk.jp/products/>.
- [72] Local Positioning System (LPS), <http://jp.fujitsu.com/group/fst/services/ubiquitous/rfid/>.

- [73] S. Fujita, H. Hara, K. Sugawara, T. Kinoshita, and N. Shiratori, “Agent-based design model of adaptive distributed systems, ” *Applied Intelligence*, Vol.9, No.1, pp.57–70, 1998.
- [74] T. Uchiya, T. Maemura, X. Li, and T. Kinoshita, “Design and implementation of interactive design environment of agent system, ” *Proc. of the 20th International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE2007)*, pp.1088–1097, 2007.
- [75] センサーネットワーク MOTE Official Page, <http://www.xbow.jp/motemica.html>.
- [76] <http://www.xbow.jp/mtsmdaj.pdf>
- [77] <http://www.xbow.jp/mprmib.pdf>